UNIVERSIDADE DE LISBOA

INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO

ANÁLISE E CARTOGRAFIA DA SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE VERTENTE E EROSÃO COSTEIRA EM CABO VERDE: CASO DE ESTUDO A ILHA DE SÃO NICOLAU

João Filipe Mateus Pinheiro

Relatório final de estágio

Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial Aplicados ao Ordenamento

2014

UNIVERSIDADE DE LISBOA

INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO

ANÁLISE E CARTOGRAFIA DA SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE VERTENTE E EROSÃO COSTEIRA EM CABO VERDE: CASO DE ESTUDO A ILHA DE SÃO NICOLAU

João Filipe Mateus Pinheiro

Relatório de estágio orientado pelo Prof.º Doutor Mário Neves

Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial Aplicados ao Ordenamento

2014

Dedicatória

Em memória do meu querido avô António Mateus!

RESUMO

ANÁLISE E CARTOGRAFIA DA SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE VERTENTE E EROSÃO COSTEIRA EM CABO VERDE: CASO DE ESTUDO A ILHA DE SÃO NICOLAU

João Filipe Mateus Pinheiro

O trabalho realizado durante o projeto tendo como caso de estudo a ilha de São Nicolau visa essencialmente criar uma ferramenta de apoio à tomada de decisão por parte de políticos e decisores ligados à gestão e ordenamento do território.

O presente trabalho incidiu em análise espacial na determinação da suscetibilidade a fenómenos como movimentos de vertente e erosão costeira. Os procedimentos utilizados para responder a estes objetivos assentaram essencialmente na criação de um inventário robusto de movimentos de vertente que juntamente com os 6 fatores de predisposição considerados possibilitaram o uso do método estatístico bivariado - método do valor informativo elaborado por Yan em 1988.

Para a determinação da erosão das praias, recorreu-se a uma análise multicritério com integração da informação através da Combinação Linear Ponderada, esta metodologia permite ponderar as classes dos fatores mais propensas à erosão e posteriormente multiplicá-las pelo peso atribuído a cada fator.

A validação do mapa de suscetibilidade a movimentos de vertente foi realizada através da taxa de sucesso. Para avaliar a qualidade do modelo, calculou-se a AAC, o resultado obtido deverá ser no mínimo de 0,75 para que o modelo seja considerado razoável, no presente trabalho o resultado da AAC foi acima dos 0,85, o que significa que o ajustamento do modelo foi muito satisfatório.

No que concerne à erosão costeira, foi adotada outra metodologia, no entanto esta apenas foi possível aplicar no âmbito do projeto na praia do Tarrafal, ilha de

Santiago. A metodologia diz respeito ao *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS), o cálculo da taxa de recuo foi feito para uma série temporal de 49 anos, os resultados obtidos foram satisfatórios. Neste período em análise a praia do Tarrafal teve um recuo médio anual de 14m.

Palavras chave: Cabo Verde; São Nicolau; Sistemas de Informação Geográfica; Suscetibilidade; Erosão costeira; Movimentos de Vertente; Valor Informativo.

RESUMEN

ANÁLISE E CARTOGRAFIA DA SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE VERTENTE E EROSÃO COSTEIRA EM CABO VERDE: CASO DE ESTUDO A ILHA DE SÃO NICOLAU

João Filipe Mateus Pinheiro

El trabajo realizado durante este proyecto tiene como caso de estudio la isla de São Nicolau, esencialmente tiene como objetivo crear una herramienta de apoyo a la toma de decisiones de los políticos y a los tomadores de decisiones que están vinculados a la gestión y la ordenación del territorio.

En las últimas décadas se ha asistido a una creciente aplicación de los Sistemas de Información Geográfica en estudios de susceptibilidad de movimientos de ladera y de erosión costera. La cartografía digital y las tecnologías de información geográfica han proporcionado un avance tecnológico notable, dando la posibilidad de manipular, almacenar y procesar datos espaciales. Las herramientas disponibles para este propósito, permiten hoy en día, modelar de un conjunto de factores, integrar información geográfica en modelos estadísticos que permiten determinar la susceptibilidad de la ocurrencia de este tipo de fenómenos.

El presente trabajo incidió en el análisis espacial en la determinación de la susceptibilidad de fenómenos de movimientos de ladera y de erosión costera; así, los procedimientos utilizados para cumplir con los objetivos pretendidos se basan en la creación de un inventario sólido de movimientos de ladera, en conjunto con los 6 factores de predisposición seleccionados posibilitarán la utilización del método estadístico bivariado - método del valor informativo, desarrollado por Yan en 1988.

Para la determinación de la erosión de las playas, se ha utilizado un análisis multicriterio con integración de la información geográfica a través de combinación

lineal ponderada, esta metodología permite ponderar las clases de los fatores más susceptibles de erosión para posteriormente multiplicarlos por los pesos asignados a cada uno de los factores.

La validación del mapa de susceptibilidad de movimientos de ladera, fue realizado a través de la tasa de sucesos. Para la evaluación de la calidad del modelo, se calculó AAC, el resultado obtenido debe ser por lo menos de 0,75 para que el modelo sea considerado razonable, en este trabajo el resultado de AAC fue superior a 0,85. Por lo que el ajuste del modelo se considera muy satisfactorio.

Con respecto a la erosión costera, se adoptó otra metodología, sin embargo, esto sólo fue posible aplicar en la playa de Tarrafal, isla de Santiago. La metodología se refiere al *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS), se realizó el cálculo de la tasa de retiro para una serie de tiempo de 49 años, los resultados fueron satisfactorios.

En este período la playa Tarrafal tuvo una disminución promedio anual de 14 m.

Palabras clave: Cabo Verde; São Nicolau; Sistemas de Información Geográfica; Susceptibilidad; Erosión costera; Movimientos de Ladera y Valor Informativo.

ÍNDICE GERAL

RESUMO **V**

RESUMEN **VII**

ÍNDICE DE FIGURAS **XIII**

ÍNDICE DE TABELAS **XIX**

ABREVIATURAS **XXI**

AGRADECIMENTOS **XXIII**

CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO **1**

1.1- Enquadramento temático do estágio 1

1.2- Problemáticas em estudo 3

1.2.1-Problemática da erosão costeira 3

1.2.2-Problemática da dinâmica de vertentes 5

1.3- Fundamentos teóricos 8

1.3.1-Suscetibilidade 8

1.3.2-Arriba 9

1.3.3-Vertente 9

1.3.4-Movimentos de vertente 10

CAPÍTULO 2- ENQUADRAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO **15**

2.1- Enquadramento do arquipélago de Cabo Verde 15

2.2- Enquadramento da ilha de São Nicolau 24

CAPÍTULO 3- METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE VERTENTE E EROSÃO COSTEIRA **27**

3.1- Metodologia geral 27

3.2- Fontes de informação 29

3.3- Determinação de fatores de predisposição à ocorrência de movimentos de vertente 30

3.3.1-Análise dos fatores de predisposição 33

3.4- Construção de inventários de movimentos de vertente e sistemas de praia 46

3.4.2-Inventariação dos movimentos de vertente 48

3.4.3-Inventariação dos sistemas de praia 54

3.5- Metodologia de avaliação da suscetibilidade à dinâmica de vertentes 56

3.5.1-Método do Valor Informativo 57

3.6- Aplicação do Método do Valor Informativo para determinar a suscetibilidade a movimentos de vertente na ilha de São Nicolau 59

3.7- Metodologia utilizada para determinar a suscetibilidade à erosão costeira 60

3.7.1-Suscetibilidade a movimentos de vertente na faixa costeira de São Nicolau 61

3.7.2-Determinação da suscetibilidade à erosão das praias através do método de Análise Multicritério 63

3.8- Representação dos resultados 70

CAPÍTULO 4- ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS 73

4.1- Validação dos resultados obtidos 73

4.2- Análise estatística da suscetibilidade a movimentos de vertente 75

4.3- Análise estatística da suscetibilidade a movimentos de vertente na faixa costeira 78

4.4- Análise estatística da suscetibilidade à erosão das praias 80

CAPÍTULO 5- EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA NA PRAIA DO TARRAFAL, ILHA DE SANTIAGO 85

5.1- Cálculo da evolução da linha de costa com aplicação da extensão Digital Shoreline Analysis System (DSAS) 85

5.2- Fotografias aéreas 87

5.2.1-Georreferenciação das fotografias aéreas 88

5.3- Delimitação da linha de costa na praia do Tarrafal 92

5.4- Aplicação do Digital Shoreline Analysis System (DSAS) 94

5.5- Análise estatística dos resultados 97

5.5.1-Análise da evolução da linha de costa entre 1961-1992 99

5.5.2-Análise da evolução da linha de costa entre 1992-2003 100

5.5.3-Análise da evolução da linha de costa entre 2003-2010 102

5.5.4-Análise da evolução da linha de costa entre 1961-2010 104

CONSIDERAÇÕES FINAIS 107

BIBLIOGRAFIA 111

ANEXOS 121

ANEXO A - FIGURAS 123

ANEXO B- TABELAS 129

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1- Classificação da tipologia dos movimentos de vertente. Fonte: Cruden & Varnes, 1996 10

Figura 1.1- Desabamento (Fall). Fonte: USGS, 2004. 11

Figura 1.2- A: Deslizamento rotacional (Rotational slide) B: Deslizamento translacional (Translational slide). Fonte: USGS, 2004. 12

Figura 1.3- Escoada (flow). Fonte: USGS, 2004..... 13

Capítulo 2

Figura 2- Localização geográfica do Arquipélago de Cabo Verde. (Fonte: Página global, 2013)..... 16

Figura 2.1- Características da ondulação em Cabo Verde. A: Frequência relativa da altura significativa das ondas. B: Frequência relativa da direção das ondas. (Fonte: Hidroprojeto, 1997b)..... 23

Figura 2.2- Enquadramento geográfico da Ilha de São Nicolau, Arquipélago de Cabo verde. Fonte: Morabitur 25

Capítulo 3

Figura 3- Distribuição das classes de altitude na área de estudo..... 35

Figura 3.1- Distribuição das classes de declive na área de estudo 37

Figura 3.2- Distribuição das classes de exposição na área de estudo 38

Figura 3.3- Perfil transversal da vertente a diferentes resoluções. (Fonte: Garcia, 2012) 39

Figura 3.4- Curvas de sucesso de diferentes tamanhos de célula no perfil transversal de vertentes em São Nicolau, Cabo Verde. 40

Figura 3.5- Distribuição das classes de curvatura na área de estudo 41

Figura 3.6- Distribuição das classes de litologia na área de estudo 44

Figura 3.7- Distribuição das classes de ocupação de solo na área de estudo 46

Figura 3.8- A: Ortofotomapa do ano 2003. B: Ortofotomapa do ano 2010. Ambos na escala de visualização 1:25 000. São Nicolau, Cabo Verde. 48

Figura 3.9- A: Ortofotomapa do ano 2003. B: Ortofotomapa do ano 2010. Ambos na escala de visualização 1:1500. São Nicolau, Cabo Verde. 48

Figura 3.10- Características da base de dados do ficheiro de polígonos onde se encontram inventariados os movimentos de vertente da ilha de São Nicolau, Cabo Verde. 51

Figura 3.11- Esquema de Interpretação de movimentos de vertente a partir de irregularidades nas curvas de nível. Movimento da esquerda representa uma escoada de lama e à direita um deslizamento rotacional (Wills e McCrink, 2002 in Oliveira, 2012). 52

Figura 3.12- A: Exemplo de escoada na localidade de Covoada, São Nicolau. B: Exemplo de deslizamento, afetando a estrada de acesso à localidade de Juncalinho, São Nicolau. 52

Figura 3.13- Captação de imagem do google earth 3D. Delimitado a laranja está o deslizamento correspondente ao inventariado na figura 4.3.2B. O polígono à esquerda (amarelo) representa um outro tipo de movimento também ele inventariado. O polígono verde delimita um movimento de vertente ocorrido recentemente que não teria ocorrido à data do ortofotomapa utilizado no inventário. Fonte: Google Erath 3D, data:17/10/2013 53

Figura 3.14- Base de dados do inventário dos sistemas de praia 54

Figura 3.15- Praia localizada a SW de São Nicolau, Cabo Verde. A: Delimitação da praia no ortofotomapa de 2010. B: Praia identificada no Google Earth 3D. C: Fotografia da praia correspondente a A e B. Fontes: As imagens B e C foram captadas através do Google Earth 3D. 56

Figura 3.16- Esquema de avaliação da suscetibilidade à dinâmica de vertentes em São Nicolau, Cabo Verde 57

Figura 3.17- Esquematização dos processos para calcular o valor informativo, utilizando a ferramenta Model Builder do ArcGis..... 60

Figura 3.19- Esquematização dos processos para calcular o valor informativo na faixa costeira, utilizando a ferramenta Model Builder do ArcGis..... 63

Figura 3.20- Esquema sobre os procedimentos técnicos realizados no software ArcGis 10. 69

Capítulo 4

Figura 4- Curva de sucesso do modelo de suscetibilidade a movimentos de vertente na ilha de São Nicolau, Cabo Verde. 74

Figura 4.1- Suscetibilidade a movimentos de vertente, ilha de São Nicolau. 76

Figura 4.2- Suscetibilidade a movimentos de vertente por freguesia, ilha de São Nicolau 76

Figura 4.3- Suscetibilidade a movimentos de vertente, ilha de São Nicolau, Cabo Verde. 77

Figura 4.4- Suscetibilidade a movimentos de vertente na faixa costeira, ilha de São Nicolau 79

Figura 4.5- Suscetibilidade a movimentos de vertente na faixa costeira por freguesia, ilha de São Nicolau. 79

Figura 4.6- Suscetibilidade a movimentos de vertente na faixa costeira, ilha de São Nicolau, Cabo Verde. 80

Figura 4.7- Suscetibilidade à erosão das praias, ilha de São Nicolau. 82

Figura 4.8- Suscetibilidade à erosão das praias por freguesia, ilha de São Nicolau. 82

Figura 4.9- Suscetibilidade à erosão das praias na ilha de São Nicolau, Cabo Verde. 83

Capítulo 5

Figura 5- Esquema de processos realizados no cálculo da taxa de recuo\acreção, utilizando a extensão DSAS 86

Figura 5.1- Representação dos pontos de controlo em ambas as épocas, escala de visualização 1:6 000 Método de ajustamento da imagem aos pontos (spline) A: Fotografia aérea de 1961, círculo vermelho, os pontos de controlo possíveis de identificar em áreas próximas à praia do Tarrafal. B: Ortofotomapa de referência (2010) representando com círculos amarelos os pontos de controlo comuns com a fotografia de 1961. 89

Figura 5.2- Representação dos pontos de controlo em ambas as épocas, escala de visualização 1:5 000. Método de ajustamento da imagem aos pontos (spline) A: Fotografia aérea de 1992 com a representação dos pontos de controlo distribuídos pela fotografia, com especial enfoque na área junto à praia. B: Ortofotomapa de referência (2010) representando com círculos amarelos os pontos de controlo comuns com a fotografia de 1992. 89

Figura 5.3- Faixa litoral com praia onde se encontra identificada a linha de preia-mar (assinalada pelo tracejado vermelho). Fonte: Marino & Freire, 2013. 93

Figura 5.4- Fotografia aérea da praia do Tarrafal – Santiago (Cabo Verde) em 2010 com as linhas de costa de 1961, 1992, 2003 e 2010. 94

Figura 5.5- Representação do output após entrada dos dados no DSAS 96

Figura 5.6- Praia do Tarrafal em 2010 com as linhas de costa de 1961, 1992, 2003 e 2010 e os 29 transectos criados pelo DSAS. Ilha de Santiago, Cabo Verde. 98

Figura 5.7- Total de recuo da linha de costa por transecto na praia do Tarrafal, ilha de Santiago. 99

Figura 5.8- Taxa de recuo (valores negativos=recuo) da linha de costa na praia do Tarrafal, ilha de Santiago..... 100

Figura 5.9- Total de recuo/acreção da linha de costa por transecto na praia do Tarrafal, ilha de Santiago..... 101

Figura 5.10- Taxa de variação da posição da linha de costa (valores negativos=recuo; valores positivos=acreção) na praia do Tarrafal, ilha de Santiago. 101

Figura 5.11- Total de recuo da linha de costa por transecto na praia do Tarrafal, ilha de Santiago. 103

Figura 5.12- Taxa de recuo (valores negativos=recuo) da linha de costa na praia do Tarrafal, ilha de Santiago..... 103

Figura 5.13- Total de recuo da linha de costa por transecto (m) na praia do Tarrafal, ilha de Santiago. 105

Figura 5.14- Taxa de recuo (valores negativos=recuo) da linha de costa na praia do Tarrafal, ilha de Santiago..... 105

Anexo A

Figura A1- Legenda da Carta Geológica de Cabo Verde, Ilha de São Nicolau. Fonte: Instituto de Investigação Científica Tropical. Centro de Geologia. Autores: A. Serralheiro, J. Rocha de Macedo e L. Celestino Silva. Executada pelo serviço cartográfico do exército. Ano de edição: 1975. Escala: 1:50 000 123

Figura A2- Fotografia aérea da praia do Tarrafal – Santiago (Cabo Verde) em 1961 com linha de costa assinalada a vermelho. 124

Figura A3- Fotografia aérea da praia do Tarrafal – Santiago (Cabo Verde) em 1992 com linha de costa assinalada a amarelo. 124

Figura A4- Fotografia aérea da praia do Tarrafal – Santiago (Cabo Verde) em 2003 com linha de costa assinalada a azul. 125

Figura A5- Procedimento para fazer upgrade da geodatabase 125

Figura A6- Parâmetros de entrada utilizados no DSAS. Parâmetros referentes à linha de base (baseline) offshore, onshore e onshore/offshore; equidistância dos transectos; comprimento dos transectos; e direção de lançamento dos transetos. 126

Figura A7- Parâmetros referentes às linhas de costa (shorelines); Date_ (campo em que estão referidas as datas de cada linha de costa); Uncertainty (campo referente ao valor de incerteza originado pela georreferenciação das imagens aéreas) por defeito define-se como zero; closest intersection (referente à linha onde o ponto de interseção deve ser criado, no caso de estudo, ao utilizar-se o método LRR é importante definir o ponto de interseção sempre que cruzar uma linha de costa).. 126

Figura A8- Parâmetro referente aos metadados. O preenchimento deste parâmetro tal como os anteriores é obrigatório. O preenchimento pode ser feito caso assim se entenda, com os dados fornecidos no guia de usuário do DSAS. Este ficheiro de metadados pode ser posteriormente consultado através do ArcCatalog. 127

ÍNDICE DE TABELAS

Capítulo 3

Tabela 3- Distribuição das classes de altitude pelo total da ilha e na faixa de 100 m em São Nicolau, Cabo Verde. 34

Tabela 3.1- Distribuição das classes de declive pelo total da ilha e na faixa de 100m em São Nicolau, Cabo Verde. 36

Tabela 3.2- Distribuição das classes de exposição pelo total da ilha e na faixa de 100m em São Nicolau, Cabo Verde. 38

Tabela 3.3- Grau de ajuste dos movimentos de vertente ao tamanho de célula gerado no perfil transversal das vertentes em São Nicolau, Cabo Verde. 40

Tabela 3.4- Distribuição das classes de perfil transversal das vertentes pelo total da ilha e na faixa de 100m em São Nicolau, Cabo Verde. 41

Tabela 3.5- Distribuição das classes de litologia pelo total da ilha e na faixa de 100m em São Nicolau, Cabo Verde. 43

Tabela 3.6- Distribuição das classes de uso e ocupação do solo pelo total da ilha e na faixa de 100m em São Nicolau, Cabo Verde. 45

Tabela 3.7- Inventário dos movimentos de vertente em São Nicolau, Cabo Verde. 53

Tabela 3.8- Peso atribuído aos fatores de ponderação para integração na AMC.... 65

Tabela 3.9- Soma de cada orientação com as metades contíguas..... 67

Tabela 3.10- Representação gráfica dos mapas de suscetibilidade a movimentos de vertente..... 70

Tabela 3.11- Representação gráfica dos mapas de suscetibilidade à erosão das praias..... 71

Capítulo 4

Tabela 4- Classificação da suscetibilidade a movimentos de vertente pelas quebras da curva de sucesso..... 75

Tabela 4.1- Extensão litoral por freguesia, ilha de São Nicolau. 81

Capítulo 5

Tabela 5- Elementos referentes às fichas técnicas dos voos utilizados neste estudo. Santiago, Cabo Verde. 87

Tabela 5.1- Dados da georreferenciação referente à fotografia aérea de 1961..... 91

Tabela 5.2- Dados da georreferenciação referente à fotografia aérea de 1992..... 91

Tabela 5.3- Taxas de recuo da praia do Tarrafal entre 1961-2010..... 97

Tabela 5.4- Evolução da linha de costa entre 1961-1992 na praia do Tarrafal, ilha de Santiago. 99

Tabela 5.5- Evolução da linha de costa entre 1992-2003 na praia do Tarrafal, ilha de Santiago. 101

Tabela 5.6- Evolução da linha de costa entre 2003-2010 na praia do Tarrafal, ilha de Santiago. 102

Tabela 5.7- Evolução da linha de costa entre 1961-2010 na praia do Tarrafal, ilha de Santiago. 104

Anexo B

Tabela B1- Fontes de informação relativa aos dados utilizados..... 129

Tabela B2- Inventário das praias de São Nicolau, Cabo Verde..... 131

Tabela B3- Parâmetros de cálculo para obtenção das classes de suscetibilidade à erosão das praias. A: Variáveis associadas à erosão. B: Ponderação atribuída a cada classe de variável. C: Multiplicação do peso de cada variável pela ponderação de cada classe. Ex: 30*0.4=12; 40*0.3=12; 40*0.2=8 Soma=32..... 132

Tabela B4- Procedimentos efetuados no cálculo do Valor informativo..... 135

ABREVIATURAS

AAC Área Abaixo da Curva

AMC Análise Multicritério

CLP Combinação Linear Ponderada

DSAS Digital Shoreline Analysis System

EMQ Erro Médio Quadrático

INE Instituto Nacional de Estatística

MDT Modelo Digital de Terreno

PDM Plano Diretor Municipal

PROT Plano Regional do Ordenamento do Território

SIG Sistemas de Informação Geográfica

VI Método do Valor Informativo

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, quero endereçar um agradecimento à instituição IGOT e a todos os membros que fazem parte desta instituição de ensino, principalmente ao corpo docente, pelos ensinamentos que recebi ao longo destes últimos 5 anos. Em segundo lugar, agradecer à Município, EM, S.A. na pessoa do Dr. Nélson Mileu, pela oportunidade que me foi concedida em realizar o estágio num projeto aliciante e de grande relevo que muito contribuiu para enriquecer o meu curriculum. Ao CEG por me ter acolhido e disponibilizado o espaço e computador para que pudesse realizar o meu trabalho.

Feitos os agradecimentos institucionais, passo a fazer os agradecimentos às pessoas que neste período mais contribuíram e me ajudaram a chegar até aqui.

Gostaria de dar uma palavra de agradecimento ao Prof. Dr. Eusébio Reis, não só por criar em mim um gosto pela análise espacial e pelos conhecimentos que me transmitiu nas cadeiras por si lecionadas de SIG, mas principalmente pela sua dedicação e empenho em satisfazer o meu pedido e por isso me colocar neste estágio, num tema que muito me agrada.

Ao meu orientador Prof. Dr. Mário Neves, a forma como se relaciona com os alunos e a simplicidade com que explica as matérias fez-me despertar desde logo interesse pela sua área de especialização (litoral), o apoio e confiança transmitida ao longo dos últimos meses na elaboração das minhas tarefas inerentes aos objetivos do projeto, as críticas e sugestões que em muito enriquecem este trabalho, a si por tudo, muito obrigado.

À equipa com quem trabalhei nestes últimos meses, nomeadamente o Prof. Dr. José Luís Zêzere e Dra. Cristina Henriques, pela forma como me receberam, pelo apoio dado durantes as fases de realização do projeto, a disponibilidade e prontidão em me ajudar, por tudo isto, o meu muito obrigado a ambos.

Aos elementos que compõem a equipa de investigadores do CEG, Prof. Dr. Jorge Rocha; Prof. Dr. Paulo Morgado; Prof. Dr. Nuno Marques da Costa; Prof. Dr. Ricardo Garcia, Prof. Dr. Sérgio Oliveira e Prof. Dra. Susana Pereira, pela maneira

acolhedora e simpática com que me receberam, pela disponibilidade, dissipação de dúvidas, uma palavra sincera de agradecimento, não só por estes últimos meses, mas também pelos conhecimentos transmitidos ao longo destes últimos anos.

Aos meus colegas de licenciatura e de mestrado, de Humana, Física e SIG. Foi um prazer ter partilhado a sala de aula com vocês. Grande parte das minhas conquistas devo-as a todos vós, pela prontidão e disponibilidade em me auxiliar e ajudar em momentos críticos. Serei sempre grato a todos!

Aos meus familiares e amigos, pelo apoio e carinho que recebo todos os dias, que me ajudam a ser mais forte e abraçar a vida com mais força.

A todos o meu mais sincero obrigado por tudo!

CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO

1.1- Enquadramento temático do estágio

O presente trabalho constitui o relatório de estágio realizado na Munícipia, EM, S.A. em cooperação com o Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, no âmbito do mestrado de Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial aplicados ao Ordenamento.

Este estágio foi realizado no âmbito do projeto "Avaliação e Cartografia de Risco para Cabo Verde" para as Nações Unidas e teve a duração de 6 meses. O referido estágio decorreu sob orientação científica do Prof. Dr. Mário Neves.

Embora o projeto tenha sido aplicado a todo o arquipélago de Cabo Verde, à exceção da ilha de Santa Luzia pois esta é desabitada, apresentar-se-á a ilha de São Nicolau como modelo, conforme o título deste relatório. Ou seja, todos os processos levados a cabo para a elaboração da Cartografia de suscetibilidade aplicados a Cabo Verde, irão ter como modelo a apresentar neste relatório a ilha de São Nicolau. Esta opção foi tomada pelo orientador e teve a minha concordância. No fundo com esta opção acaba por se respeitar o limite de palavras definido pelo concelho científico. A razão pela escolha de São Nicolau prende-se sobretudo pela complexidade do seu recorte litoral e das suas características geológicas e geomorfológicas, pois exige um maior rigor e concentração nos processos realizados.

Os objetivos pretendidos na realização deste estágio, baseiam-se essencialmente na aplicabilidade dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) no tratamento e processamento de dados, na cartografia e avaliação de riscos. Neste contexto, foi possível aplicar os conhecimentos adquiridos ao longo dos últimos anos na área de Cartografia e SIG e aprofundar e adquirir novos conhecimentos quer científicos quer técnicos. Não menos importante, a opção pela realização do estágio visou essencialmente adquirir experiência para no futuro próximo desempenhar funções profissionais.

As metodologias adotadas serão descritas adiante no presente trabalho, no entanto, é importante abrir um parêntese nesta introdução para se fazer referência a uma metodologia que foi utilizada, embora, não sendo aplicada ao caso de estudo que aqui se trata (São Nicolau). O *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) é um método que permite calcular a evolução da linha de costa numa longa série temporal. No entanto, esta metodologia não foi possível aplicar na ilha de São Nicolau, devido essencialmente à ausência de cobertura total de fotografias aéreas e falta de pontos de controlo homólogos que permitissem fazer uma correta georreferenciação das fotografias aéreas disponíveis de modo a minimizar ao máximo o erro associado à georreferenciação. Contudo, no decorrer do projeto, foi possível aplicar esta metodologia na praia do Tarrafal, ilha de Santiago com resultados muito satisfatórios, conferindo deste modo, importância elevada a esta metodologia em estudos de erosão do litoral. De modo a não se misturar esta metodologia com as que foram levadas a cabo para as restantes ilhas, incluindo o presente caso de estudo (São Nicolau), será criado no final do presente trabalho um capítulo isolado apenas para descrever e apresentar os resultados desta metodologia na praia do Tarrafal, ilha de Santiago.

Deste modo enumeram-se as tarefas a executar no presente projeto:

- Inventariação de movimentos de vertente;
- Inventariação de sistemas de praia;
- Criação, preparação e tratamento de informação geográfica;
- Georreferenciação;
- Aplicação do método estatístico bivariado do valor informativo;
- Aplicação do método de Análise Multicritério;
- Aplicação do *Digital Shoreline Analysis System;*
- Análise de resultados.

1.2- Problemáticas em estudo

1.2.1- Problemática da erosão costeira

As zonas costeiras são a interface entre a atmosfera, hidrosfera e litosfera. Constituem zonas de elevada energia com uma dinâmica muito ativa e complexa, na qual durante o Quaternário se registra uma história de instabilidade significativa, instabilidade essa que tende a aumentar devido à interferência humana **(Charlier & Meyer, 1998)**. Os citados autores referem ainda que a dinâmica das zonas costeiras é, em muitos casos, delicada do ponto de vista do equilíbrio, sendo zonas facilmente afetadas por desastres naturais ou por ação humana.

A erosão costeira é um fenómeno global que ocorre nas margens oceânicas e que vem sendo estudada na literatura técnica e cientifica há várias décadas **(Charlier & Meyer, 1998)**.

A erosão costeira está associada a processos naturais e antrópicos. Do conjunto dos processos naturais destacam-se a ação erosiva da ondulação coadjuvada por diversos processos de meteorização e os movimentos de vertente em arribas. A erosão costeira, embora seja considerada como um fenómeno natural, tem na atividade antrópica um agente potenciador do processo erosivo, pois as intervenções pesadas de engenharia costeira, a construção de barragens que retêm uma grande quantidade de sedimentos que alimentam as praias, as dragagens e extração de inertes, todas elas contribuem ativamente para o processo de erosão costeira. O litoral tem recursos naturais muito atrativos para o homem, que estão na base da sua exploração e consequente desenvolvimento de atividades económicas como o turismo e indústria. A ocupação antrópica junto ao litoral tem aumentado década após década. Segundo Andrade (1998) *in* **(Gusmão, 2010)**, no último século verificou-se uma ocupação intensa do litoral por parte da população, de tal forma que cerca de dois terços das cidades mundiais estão próximas ou a menos de 100 km da linha de costa. A população junto à costa atingiu em 2001 cerca de 70 milhões de habitantes **(Eurosion, 2006)**. A intensa atividade humana em áreas costeiras, segundo **Chaves *et al.*, (2006)** pode influenciar o processo de erosão costeira devido a usos do solo desregulados.

Anualmente na Europa, segundo o relatório **Eurosion (2006)**, 15 km^2/ano são perdidos ou severamente afetados. No período de 3 anos (1999-2002), tiveram que ser abandonadas na Europa entre 250 a 300 casas e outras 3000 sofreram uma desvalorização de pelo menos 10%, isto devido ao risco iminente de erosão **(Eurosion, 2006)**.

Segundo Bird (1999) *in* **(Souza, 2009)** na década de 1990, em 70% das praias arenosas do planeta predominava a erosão, em 20% predominava acreção e apenas 10% se encontravam em relativa estabilidade.

De acordo com **Bird (2008)** identificam-se 21 fatores que iniciam ou aceleram o processo de erosão de praias, entre os quais se destacam a redução de sedimentos provenientes dos rios, a redução de sedimentos vindos das arribas, a extração de areias e cascalho das praias, o aumento da energia das ondas e o aumento da frequência e intensidade das tempestades. Estes são apenas alguns dos fatores que este autor aponta como estando ligados aos processos erosivos das praias.

O arquipélago de Cabo Verde, concentra cerca de 80% da sua população nas faixas costeiras tornando-as muito vulneráveis a eventuais alterações das condições climáticas e ocorrência de fenómenos extremos como tempestades e inundações **(RCV, 2012)**. As atividades económicas do país, bem como as atividades industriais e turísticas estão concentradas nas faixas costeiras, representando grande parte da economia nacional. Ao longo da costa existem 78 comunidades piscatórias que vivem diretamente da pesca, atividade que emprega cerca de 2,1% da população total e 5,2% da população ativa, tendo este setor produtivo, em 2010, sido aquele que mais exportou **(Varela *et al.,* 2011)**. De acordo com estes autores, o emprego cresceu noutras atividades relacionadas com o mar como a indústria transformadora da pesca, o turismo associado à restauração, construção naval, o fabrico de redes e outros apetrechos para a pesca.

Em Cabo Verde, a construção civil é um potenciador da economia global. A extração de inertes nos fundos das ribeiras e nas praias tem sido uma atividade praticada com muita intensidade por quase todo o país, atividade explorada sobretudo pelo mercado da construção civil **(Silva, 2005)**. Para se ter uma ideia desta prática, segundo **Gomes (2011)**, o consumo médio de inertes no arquipélago de Cabo Verde

é de aproximadamente 1 ton/hab e tem crescido em média entre 4% a 5% ao ano. Esta atividade tem estado confinada em grande parte à população mais pobre, em particular as mulheres chefes de família que procuram o sustento nesta atividade extremamente precária **(Gomes, 2011)**.

Com efeito, estas práticas clandestinas trazem consequências gravosas no que respeita à erosão costeira, não só pela destruição de praias mas sobretudo pela extração de areias nos fundos de vale das ribeiras, comprometendo desta forma, o transporte de sedimentos responsável pela alimentação das praias.

De salientar que apenas um décimo da superfície do arquipélago é arável pelo que se torna ainda mais preocupante **(Gomes, 2011)**.

Deste modo, a erosão costeira, sendo um fenómeno natural de elevada expressividade, constitui um verdadeiro problema para o ordenamento do território costeiro e gestão do risco associado ao seu uso e ocupação (Marques & Andrade, 2009) *in* **(Epifânio, 2013).**

Segundo a **APA (2012)**, num futuro próximo, a gestão dos riscos inerentes à evolução do litoral será uma questão de maior importância devido aos impactos das alterações climáticas, designadamente a subida do nível médio do mar e a modificação do regime de agitação marítima, da sobre-elevação meteorológica e da precipitação.

Contudo, estes impactos previsíveis derivados das alterações climáticas irão depender das características geológicas, morfológicas e padrões de ocupação existentes nas faixas costeiras, impactos estes que se podem refletir a nível económico, social e ambiental **(APA, 2012)**.

1.2.2- Problemática da dinâmica de vertentes

O estudo da dinâmica de vertentes e dos riscos que lhes estão associados envolve uma grande multidisciplinaridade, quer na avaliação dos seus processos e mecanismos, quer na análise dos seus efeitos na população e no meio **(Teixeira, 2005)**.

Este estudo tem sido partilhado, ao nível internacional, pela Geomorfologia, Geologia, Engenharia Geológica e Geotecnia. As disciplinas de Geomorfologia e Geologia tradicionais preocupam-se essencialmente, com causas, evolução e distribuição das manifestações de instabilidade nas vertentes, no espaço e no tempo. A cooperação interdisciplinar entre geomorfólogos, geólogos e engenheiros, e o enriquecimento concetual e metodológico resultante das experiências partilhadas, verificadas desde a década de 50, justificam o desenvolvimento quantitativo e qualitativo dos estudos sobre dinâmicas de vertente um pouco por todo o mundo **(Zêzere, 2005)**.

Os movimentos de vertente são um tipo de perigo natural que tem recebido uma importante atenção por parte da comunidade científica. Nas últimas décadas têm sido desenvolvidos esforços para homogeneizar conhecimentos e metodologias, no que respeita à análise de risco associada a movimentos de vertente **(Garcia, 2012)**.

Este fenómeno geomorfológico está intimamente ligado a acontecimentos naturais, como a precipitação, sendo este o fator principal no desencadeamento de movimentos de vertente, embora um sismo ou erupção vulcânica podem desencadear igualmente um movimento de vertente **(Zêzere, 2005)**. No entanto, **Teixeira (2005)** refere que, para o estudo da evolução deste fenómeno, o conhecimento dos fatores geológicos, como a litologia, a textura, a estrutura e a rede de fracturação é de extrema importância na interpretação da dinâmica de vertentes. O mesmo autor salienta que é fundamental do ponto de vista geomorfológico, estudar a morfologia das vertentes, a sua exposição, os declives, a densidade da rede de drenagem bem como a ocupação do solo.

Os movimentos de vertente têm sido a causa de algumas catástrofes em diversos pontos do mundo, sendo responsáveis por elevado número de vítimas mortais e avultados danos materiais **(Epifânio, 2013)**.

Recentemente ocorreram episódios com estes impactes, nomeadamente em Oso região de Seattle, no Noroeste dos Estados Unidos da América e em Argo na província de Badakhshan, no Nordeste do Afeganistão. No primeiro caso, e citando fontes noticiosas as estimativas apontavam para 21 vitimas mortais e cerca de 30 desaparecidos. Em termos de danos materiais as estimativas apontavam para cerca

de 50 casas atingidas e parte de uma autoestrada **(Fonte: JN)**. No segundo caso, e com consequências mais gravosas em termos mortais e materiais, deu-se no passado mês de Maio no Nordeste do Afeganistão, dois deslizamentos em sequência, que vitimaram segundo fontes oficiosas cerca de 2000 pessoas, e "engoliu" entre 300 a 400 casas. Segundo as mesmas fontes, viviam neste distrito cerca de 2700 pessoas **(Fonte: CNN)**. Estes números revelados por fontes oficiosas, demonstram a dimensão e consequências que este fenómeno pode causar na população sendo por isso necessário concluir que o estudo da instabilidade de vertentes assume cada vez mais um papel fundamental nas questões do ordenamento do território.

Em Cabo Verde, na ilha de São Nicolau, no ano 2009, na localidade de Covoada, este fenómeno causou também ele vitimas mortais e danos materiais. A chuva intensa que desencadeou um deslizamento provocou a morte a uma mulher e aos seus dois filhos. Os danos materiais deram-se em casas, infraestruturas (estradas cortadas), ruas e avenidas, tendo ficado esta vila sem energia elétrica, sem rede móvel e sem sinal de rádio, e ainda sem água potável durante alguns dias **(Fonte: Sapo.notícias)**.

Embora estes acontecimentos sejam provocados por fenómenos naturais, como chuvas rápidas, as consequências socioeconómicas provocadas por estes acontecimentos, em alguns casos, estão relacionadas com o deficiente ordenamento do território. **Zêzere (2001)** aponta a intensa pressão urbana, as modificações do uso do solo, a ocupação de antigas áreas rurais por populações que conservam a mentalidade urbana, a utilização de áreas naturalmente expostas a perigos naturais e, por isso, pouco aptas à construção, como responsáveis pelo agravamento das consequências da instabilidade geomorfológica. O mesmo autor refere ainda, que intervenções antrópicas desajustadas interferem diretamente nas manifestações de instabilidade natural que, deste modo, tendem a agravar-se.

Deste modo, é necessário maximizar a consciencialização das populações mais expostas ao risco e das entidades com responsabilidade na gestão e ordenamento do território, para que no futuro se possa minimizar os impactes socioeconómicos provocados por fenómenos desta natureza.

1.3- Fundamentos teóricos

1.3.1- Suscetibilidade

A suscetibilidade é "entendida como a probabilidade espacial de ocorrência de um determinado fenómeno numa dada área com base nos fatores condicionantes do terreno, independentemente do seu período de recorrência" **(Zêzere, 2005, p. 81)**.

A metodologia que avalia a suscetibilidade assenta sobre métodos de avaliação relativa, sendo que esta metodologia baseia-se sobretudo na localização e distribuição dos movimentos de vertente e dos fatores que os condicionam. Desta forma, os métodos de avaliação relativa subdividem-se em métodos de cartografia direta e indireta **(Henriques, 2009)**.

De acordo com **Zêzere (2005)** os métodos de cartografia direta assentam na análise dos efeitos da instabilidade e permitem a avaliação qualitativa da suscetibilidade. No entanto, os resultados são subjetivos, uma vez que estes dependem da experiência individual do geomorfólogo que realiza o levantamento de campo, e que selecionou, ponderou e determinou as combinações mais relevantes entre os fatores de instabilidade, para definir as situações de perigo.

Por outro lado, os métodos de cartografia indireta baseiam-se, segundo **Zêzere (2005),** na análise das causas da instabilidade e na procura de relações espaciais entre variáveis. Este tipo de análise possui muito menos subjetividade que o método de cartografia direta, sendo que este possibilita a construção de modelos. **(Henriques, 2009).** Os métodos de cartografia indireta implicam a definição prévia de unidades cartográficas no território, sendo que estas unidades podem ser: unidades matriciais; unidades de condição única; unidades geológico-geomorfológicas; unidades morfo-hidrológicas, ou unidades topográficas **(Zêzere, 2005)**. Ainda de acordo com **Zêzere (2005),** existem dois subtipos de métodos de cartografia indireta: (i) a indexação - método heurístico - consiste numa atribuição subjetiva de "*scores*" a um conjunto de fatores passíveis de representação cartográfica;–(ii) na análise estatística, os fatores que condicionam a instabilidade passada e presente são relacionados através de uma função paramétrica empírica,

possibilitando a predição quantificada de suscetibilidade nas áreas ainda não instabilizadas.

1.3.2- Arriba

A arriba (*Cliff*) pode ser entendida como uma "forma erosiva com declive forte, talhada em rochas coerentes, localizada frente ao mar, que evolui, no setor cimeiro por processos subaéreos, frequentemente condicionados pela instabilização provocada na base por ação direta da ondulação ou por processos (físicos, químicos e/ou biológicos) ligados à presença da água do mar" **(Neves, 2004, p.2)**

O conjunto de processos que afetam a base da arriba podem ser agrupados em 3 conjuntos: ação das ondas, que inclui ação hidráulica e mecânica, meteorização que inclui processos físicos e químicos e por fim ação biológica **(Neves, 2004)**. No entanto, não será feita uma descrição detalhada destes processos, pois para efeitos do presente trabalho, a análise dos resultados não tem em conta esta diferenciação de processos.

O conjunto de processos subaéreos que afeta a generalidade das vertentes e que podem deste modo fazer evoluir as arribas, podem agrupar-se em dois conjuntos: processos de erosão hídrica e os movimentos de vertente.

Estes conjuntos de processos, segundo **Neves (2004),** são condicionados por um conjunto de fatores que se passam a enumerar: i) fatores geomorfológicos; ii) fatores climáticos; iii) fatores hidrológicos; iv) fatores biológicos; e v) fatores antrópicos.

1.3.3- Vertente

A vertente pode definir-se como uma " superfície inclinada, cujo gradiente (declive) corresponde à inclinação relativamente ao plano horizontal; cujo comprimento corresponde à distância entre o seu topo e a sua base; e cujo comando corresponde à diferença de altitude entre o seu topo e a sua base." **(Zêzere, 2005, p.31).**

1.3.4- Movimentos de vertente

A terminologia de base que classifica os movimentos de vertente (*Landslide*) é predominantemente anglo-saxónica. Segundo **Garcia (2002),** os termos e classificações utilizadas para descrever os movimentos de vertente são distintos consoante a região ou grupo de cientistas que os estudam. Neste sentido, e para evitar que os termos e classificações fossem utilizados com significados múltiplos devido á sua difícil tradução foi desenvolvido um trabalho no âmbito do projeto comunitário TESLEC (The Temporal Stability and Activity of Landslides in Europe with Respect To Climate Change, 1994-1996) publicado por **Dikau *et al.,* em 1996**, onde foram apresentadas propostas de terminologia dos tipos de movimentos de vertente em sete idiomas, entre os quais se destaca o Português, pois um dos membros que representou este projeto era Português. Continuamente e para dar seguimento à homogeneização desta terminologia a nível internacional, foi desenvolvido por um grupo de trabalho da Unesco denominado de *Working Party on World Landslide Inventory* com a sigla (WP/WLI) **(Zêzere, 2000)**. Deste modo, a definição adotada pela WP/WLI para descrever os movimentos de vertente (*Landslide*) é "movimento de descida, numa vertente, de uma massa de rocha, terra ou detritos." (**CRUDEN, 1991**) Esta definição tem sido utilizada a nível internacional e alguns autores como Dikau *et al* (1996) *in* **(Zêzere, 2000)** salienta que todos os investigadores europeus se devem reger pelos termos internacionais adotados pela WP/WLI para descrever "a morfologia, dimensões, atividade, distribuição, e tipologia dos movimentos de vertente". A figura 1 abaixo, sistematiza os diferentes tipos de abrangência mais frequentemente utilizados para os diferentes termos em análise.

Type of Movement	Type of Material		
		Engineering Soils	
	Bedrock	Predominantly Coarse	Predominantly Fine
Fall	Rock fall	Debris fall	Earth fall
Topple	Rock topple	Debris topple	Earth topple
Slide	Rock slide	Debris slide	Earth slide
Spread	Rock spread	Debris spread	Earth spread
Flow	Rock flow	Debris flow	Earth flow

Figura 1- Classificação da tipologia dos movimentos de vertente. Fonte: Cruden & Varnes, 1996

Tipologia de movimentos de vertente adotados pela classificação da *WP/WLI*

Conforme se pode verificar (Figura 1), a classificação de movimentos de vertente abrange cinco tipos de movimentos: Desabamento (Fall); Balançamento (Topple); Deslizamento (Slide); Expansão Lateral (Spread) e Escoada (Flow).

Desabamento (*fall*)

Um desabamento (Figura 1.1) é “uma deslocação de solo ou rocha a partir de um abrupto, ao longo de uma superfície onde os movimentos tangenciais são nulos ou reduzidos. O material desloca-se predominantemente pelo ar, por queda, saltação ou rolamento. O movimento é muito rápido a extremamente rápido” **(WP/WLI, 1993, p. 6-2; Cruden & Varnes, 1996, p.53)**.

Este tipo de movimento é brusco e de grande velocidade, geralmente de grande magnitude. Este tipo de movimento ocorre frequentemente em arribas. A erosão provocada por ação marinha na base de uma arriba causa instabilidade no sector cimeiro da mesma, devido ao efeito de sapa criado na sua base, podendo dar origem a desabamentos.

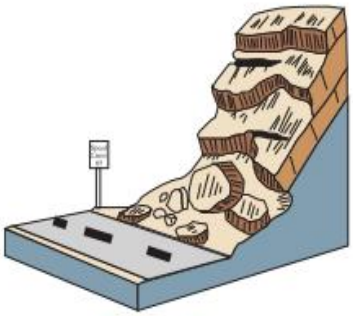

Figura 1.1- Desabamento (*Fall*). Fonte: USGS, 2004.

Deslizamento (*Slide*)

Um deslizamento é um "movimento descendente de massa, solo ou rocha, que ocorre predominantemente em superfícies de rutura ou em zonas relativamente finas, alvo de intensa deformação tangencial." **(WP/WLI, 1993, p. 6-2; Cruden & Varnes, 1996, p.56)**

Durante o movimento, a massa deslocada apresenta graus de deformação muito variáveis, consoante o tipo de deslizamentos. Os critérios fundamentais para a subdivisão dos deslizamentos, prendem-se com as características do material afetado **(Zêzere, 2005)**. Assim os deslizamentos subdividem-se em dois tipos: deslizamentos rotacionais e translacionais.

a. **Deslizamentos rotacionais (*Rotational Slide*)** - "Estes ocorrem ao longo de superfícies de rutura curvas, em materiais homogéneos." (Figura 1.2A) Em áreas sujeitas a enchimento, os deslizamentos rotacionais tendem a ter uma incidência superior aos outros tipos de deslocação. Possuem uma tendência para gerar aclives, na parte superior da massa deslocada, favorecendo a retenção da água **(Cruden & Varnes, 1996, p.56)**.

b. **Deslizamentos translacionais (*Translational Slide*)** – "É um movimento de massa que se desloca ao longo de uma superfície de rutura plana ou ondulada." (Figura 1.2B) O seu deslocamento vai geralmente para além da superfície de rutura, cobrindo a jusante a superfície topográfica original. Os deslizamentos translacionais resultam, frequentemente, da existência de descontinuidades (falhas, fraturas), planos de estratificação ou do contacto entre o maciço rochoso e níveis de solo residual ou transportado. Podem ocorrer fraturas na massa instabilizada, associadas a um aumento de velocidade ou do teor em água **(Cruden & Varnes, 1996, p.57)**.

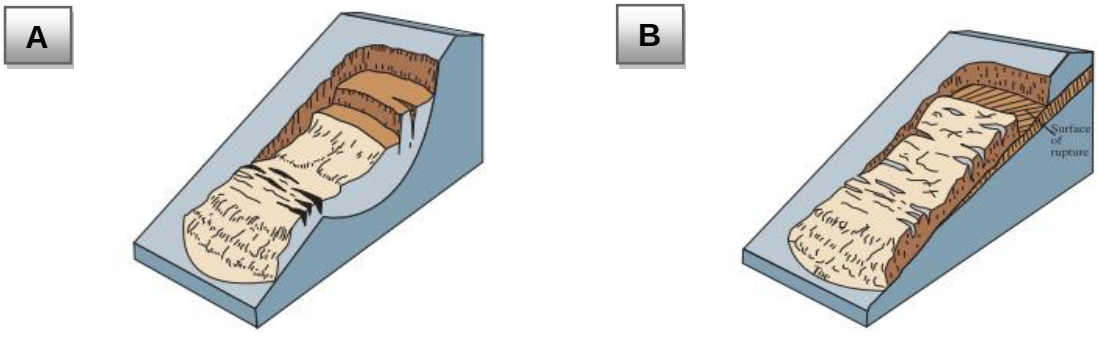

Figura 1.2- A: Deslizamento rotacional (*Rotational slide*) B: Deslizamento translacional (*Translational slide*). Fonte: USGS, 2004.

Escoada (*flow*)

Uma escoada (Figura 1.3) é um "movimento espacial contínuo onde as superfícies de corte são de curta duração, espaçados de perto, e, geralmente, não preservada. A distribuição de velocidades na massa deslocada é semelhante à de um fluído viscoso." A transição de um deslizamento para escoada está dependente em muitos casos do teor de água no solo (perda de coesão), da mobilidade (vertentes muito inclinadas) e da evolução do movimento **(WP/WLI, 1993, p. 6-2; Cruden & Varnes, 1996, p.64)**.

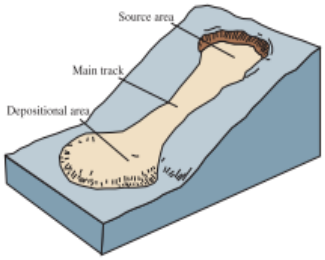

Figura 1.3- Escoada (*flow*). Fonte: USGS, 2004

CAPÍTULO 2- ENQUADRAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1- Enquadramento do arquipélago de Cabo Verde

a. Enquadramento Geográfico

O arquipélago de Cabo Verde localiza-se no Atlântico Norte, a cerca de 450-600 km ao largo da costa ocidental de África, entre as latitudes 14º40' e 17º30'N e entre as longitudes 21º 30' e 25º30' W de Greenwich **(Ramalho, 2011)**. Integra o grupo das ilhas Macaronésias juntamente com os arquipélagos dos Açores, Madeira e das Canárias **(Victória, 2012)**. O arquipélago tem uma superfície terrestre de cerca de 4068 km2, **(Ramalho, 2011)** tendo uma extensão de linha de costa aproximadamente 1020 km **(**Bravo de Laguna, 1985 *in* **Rocha, 2010)**.

O arquipélago é constituído por dez ilhas, todas elas com dimensões variáveis, sendo a ilha de Santiago a maior com cerca de 991km2. Em termos administrativos, o arquipélago de Cabo Verde organiza-se em 22 Municípios e 32 freguesias, distribuídas pelas 9 ilhas habitadas, isto porque a ilha de Santa Luzia não é habitada e, como tal, não foi considerada no presente projeto.

Este arquipélago divide-se em dois grupos em função dos ventos alíseos do Nordeste, ao norte as ilhas de Barlavento e a sul as ilhas de Sotavento.

As ilhas de Barlavento são constituídas, de Oeste para Leste, por Santo Antão, São Vicente, (Ilhéu dos Pássaros) Santa Luzia, (entre estas duas existem os ilhéus de Branco e Raso) São Nicolau, Sal (Ilhéu Rabo de Junco) e Boa Vista (na costa desta ilha existem os ilhéus de Sal de Rei e do Baluarte.

Por sua vez, o grupo de Sotavento é constituído, de Leste para Oeste, pelas ilhas de Maio, Santiago (Ilhéu de Santa Maria), Fogo e Brava. Junto à costa da Brava existe o ilhéu da Areia e a cerca de 8km desta ilha, existem os ilhéus Grande, de Cima, do Rei, Luís Carneiro e Sapado **(Victória, 2012)**.

No que respeita à demografia do arquipélago, residiam na República Cabo Verdiano, à data dos últimos censos no ano 2010, 491.683 hab **(INE,2010)**. A distribuição da

população pelas ilhas foi sempre muito irregular sendo a maior concentração nas ilhas de Santiago, São Vicente, Santo Antão e Fogo **(Rocha, 2010)**.

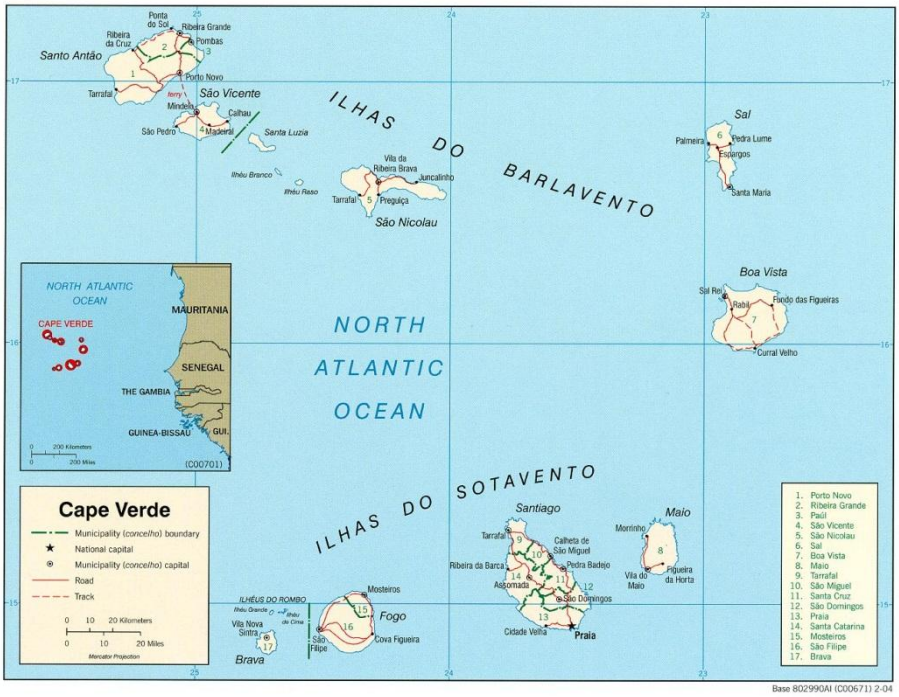

Figura 2- Localização geográfica do Arquipélago de Cabo Verde. (Fonte: Página global, 2013)

b. Enquadramento Geológico e Geomorfológico

A origem do Arquipélago de Cabo Verde é atribuído a longo período de vulcanismo associado ao "*hotspot*" de Cabo Verde. De acordo com **Ramalho (2011),** a atividade vulcânica ter-se-á iniciado no período Oligocénico/Miocénico estendendo-se até ao Holocénico.

As ilhas de Cabo Verde elevam-se de um soco submarino, em forma de ferradura, situada a uma profundidade de ordem de 3000 m **(**Bebiano, 1932 *in* **Gonçalves, 2008;** Assunção,1968 *in* **Hernández, 2008)**.

Como referido atrás, Cabo Verde é de origem vulcânica tendo origem numa atividade vulcânica submarina central, mais tarde complementada por uma rede de fissuras manifestada nos afloramentos **(Gonçalves, 2008).** Este autor acrescenta ainda que a maior parte do Arquipélago é dominado por emissões de escoadas lávicas e de materiais piroclásticos, subaéreos, predominantemente basálticos.

Segundo **Ramalho (2011),** Cabo Verde está localizada na placa africana, tendo esta placa mexido muito pouco nos últimos 30 M.A., em relação ao quadro de referência do "*hotspot"*. O citado autor acrescenta ainda que o ponto de rotação da placa Africana parece estar nas proximidades deste Arquipélago, contribuindo desta forma, para uma maior fixação do Arquipélago relativamente subjacente ao "*hotspot"*.

A missão geológica de Cabo Verde que decorreu entre 1971 e 1999, coordenada pelo geólogo António Serralheiro, debruçou-se sobre o quadro estratigráfico das ilhas, tendo determinado que a formação mais antiga pertence ao Jurássico Superior, com mais de 130 milhões de anos (representada apenas na ilha de Maio) e a mais recente pertencente ao período Holocénico, ou atual, Era Quaternária **(Gonçalves, 2008)**.

A formação das ilhas deu-se em dois períodos diferentes, segundo Madoux (1978) *in* **(Rocha 2010)**, designadamente no Cenozóico inferior período durante o qual terá ocorrido a acumulação de basaltos na base das ilhas e, no Cenozóico superior, caracterizado por intensa erosão, emissão de fenólitos e outras rochas eruptivas, seguidas por mantos basálticos que cobriram as estruturas anteriores, após um intervalo prolongado.

De acordo com **Ramalho (2011),** a atividade vulcânica não foi contínua, pelo que nem todas as ilhas se formaram ao mesmo tempo. Deste modo, segundo o citado autor, as primeiras ilhas a formarem-se foram o Sal, Boa Vista e Maio, atestadas pelas suas superfícies geológicas. Posteriormente acerca de 10-8 M.A., a atividade vulcânica terá começado mais a ocidente formando assim as ilhas de São Nicolau e Santo Antão. De seguida, e após retomado um período de atividade vigoroso, conduziu à fase de construção de um escudo volumoso de Santiago. Segundo **Rocha (2010)**, no Miocénico todas as ilhas já se encontravam formadas. A atividade vulcânica continuou em algumas das ilhas até ao Plistocénico, à exceção da ilha do Fogo, cuja atividade se prolongou até aos dias de hoje, com erupções em 1951 e mais recentemente em 1996. De acordo com **Ramalho (2011),** desde a descoberta do Arquipélago, a ilha do Fogo, tem registado em média erupções a cada 20 anos.

Tendo em conta a génese vulcânica que deu origem a este arquipélago, a sua constituição é essencialmente formada por rochas vulcânicas básicas com a predominância de rochas basálticas **(Gonçalves, 2008)**. Estas rochas basálticas constituídas por olivina, piroxena, ou anfíbolas ocupam, segundo Serralheiro (1976), *in* **(Antunes, 2008)** mais de metade da superfície emersa total do arquipélago.

Segundo Serralheiro (1976) *in* **(Antunes, 2008)**, as intrusões que se encontram são geralmente em forma de filões, chaminés, necks e domos. As formações sedimentares - aluviões, conglomerados, calcarenitos, areias e cascalheira -, podem ser encontradas em todas as ilhas, sendo algumas fossilíferas. As rochas sedimentares ocupam a maior percentagem da ilha de Maio, onde se podem encontrar afloramentos de argilas, margas e calcários. Quanto às rochas granulares, as rochas silicatadas estão mais bem representadas, segundo o mesmo autor, estas existem na maior parte das ilhas.

No que respeita à morfologia, a maioria das ilhas apresenta características dominantes que correspondem à existência de cadeias montanhosas, notáveis aparelhos vulcânicos bem conservados, numerosos e extensos vales muito encaixados e profundos nas ilhas montanhosas e as ilhas rasas com grandes zonas aplanadas das quais fazem parte as ilhas de Maio, Sal, Boa Vista e Santa Luzia **(Gonçalves, 2008; Pereira, 2010)**.

As ilhas mais ocidentais (Santo Antão e São Nicolau) apresentam relevo mais acidentado que as restantes ilhas do barlavento. De igual modo, a Sotavento (Brava, Fogo e Santiago) também se apresentam com relevo bastante acidentado. Estas ilhas apresentam cadeias montanhosas com altitudes acima dos 1.000 m à exceção da ilha da Brava com 976 m. Neste contexto, a ilha que apresenta maior altitude é o Fogo atingindo os 2.829 m no pico do vulcão sendo o ponto mais alto do arquipélago de Cabo Verde.

As ilhas mais orientais, Sal, Boa Vista e Maio, apresentam um relevo menos acidentado com vastas áreas planas e extensas praias de areia **(Lima & Martins, 2009)**. Estas ilhas destacam-se das restantes pelo fato de estarem mais próximas à costa africana bem como pela predominância dos ventos do Nordeste. Esta proximidade e rumo de ventos influenciam as características geomorfológicas destas

ilhas, pois apresentam extensas áreas de praia de areia clara devido ao transporte eólico das areias oriundas do deserto do Sahara. Destas três ilhas, Maio é a ilha que apresenta maior altitude atingindo no Monte Penoso o seu ponto mais alto com 436 m.

Dentro do contexto descrito anteriormente, em que apresentamos as ilhas com relevos mais acidentados e mais suaves, aparece numa posição intermediária a ilha de São Vicente que tem no Monte Verde com 744 m o seu ponto mais alto.

As ilhas com relevos mais acidentados, com altitudes acima dos 1000m como são os casos de Santo Antão, São Nicolau, Santiago e Fogo apresentam grandes vales e que originam dois tipos de perfis: Perfil em U e perfil em V. **(Antunes, 2008; Gonçalves, 2008)**.

c. Enquadramento Climático

No que respeita às características climáticas o arquipélago de Cabo Verde, enquadra-se na região do Sahel. Esta região é bastante vulnerável às alterações climáticas, isto porque se encontra a sul de uma vasta faixa do deserto do Sahara onde sopram predominantemente os ventos alísios do Nordeste. Tendo no passado um clima mais húmido que o atual, segundo **Victória (2012)**, tem sido fustigado nas últimas décadas por secas severas.

A localização deste arquipélago no Atlântico Oriental, na zona de circulação dos ventos alísios integra-se numa faixa de climas áridos e semiáridos que abrange toda a África até ao Sul do Sahara, na faixa de transição entre o deserto e os climas húmidos tropicais; Deste modo, o clima de Cabo Verde é do tipo subtropical seco com influência oceânica **(Moreno, 2009)**.

Segundo **Hernández (2008)**, esta faixa é influenciada por três massas de ar principais: os centros de altas pressões subtropicais do Atlântico Norte (Anticiclone dos Açores), a linha de Convergência Intertropical – CIT - (dominado pelos ventos alísios do Nordeste, que ao atravessar África e chegar ao Atlântico, desvia-se para o sul do Arquipélago) e a monção do Atlântico Sul, que carrega ventos quentes e húmidos de Sul e Sudoeste, e que é responsável pelas chuvas de verão, de Agosto

a Outubro, localmente conhecido como o “tempo das águas”. De acordo com **Antunes (2008)** as chuvas são muito irregulares. A oscilação anual da Convergência InterTropical condiciona a pluviometria deste arquipélago. O mesmo autor refere que existem quatro massas de ar principais resultantes da CIT que determinam as características climáticas. Estas massas são: os Alísios do Nordeste; a Invernada; a Lestada ou Harmatão; e a Monção

O clima Saheliano é um clima subtropical seco, com micro climas fortemente influenciados pelo fator relevo que se associa às principais correntes do ar. A estação seca vai de Dezembro a Junho e a estação húmida vai de Agosto a Outubro. Os meses de Julho e Novembro são considerados de transição, pois tanto podem apresentar características de estação húmida como de estação seca, consoante a maior ou menor duração anual das precipitações **(Gonçalves, 2008; Victória, 2012)**.

Na estação seca podem registar-se os alísios com ventos do Nordeste, que é geralmente o tipo de tempo mais frequente no arquipélago durante esta estação. Caracteriza-se por um vento fresco, nuvens nas zonas altas que não provocam quedas de chuvas. A Invernada, mais frequente entre Novembro e Fevereiro, caracteriza-se por vento predominante de Norte e ocorrência de precipitações fracas nas zonas altas e nas ilhas de Barlavento. A Lestada ou Harmatão é marcada por vento do Leste, quente e seco, proveniente do deserto do Sahara. Este tipo de tempo tem consequências nefastas na agricultura, pois o ar muito seco pode murchar as culturas. É característico dos meses de Julho e Outubro **(Antunes, 2008; Gonçalves, 2008)**.

Segundo Amaral (1964) *in* **(Victória, 2012)** a estação das águas, a mais quente, está intimamente ligada à deslocação para Norte da Convergência InterTropical, enquanto na estação das brisas, mais fresca e seca, predomina a ação dos alísios do Nordeste.

A estação das chuvas, estação onde se regista a maior parte das precipitações, está dependente da presença do ar quente e húmido, que acompanha a Convergência InterTropical. Nesta estação ocorre o tempo de monção, caracterizado por ventos de Sul e Sudeste, com massas de ar quente e húmido. Desenvolvem-se nuvens

verticais, cúmulos e cumulonimbus, responsáveis pelas precipitações abundantes e com predominância nas ilhas de Sotavento **(Antunes, 2008; Gonçalves, 2008)**.

No entanto, a precipitação anual neste arquipélago é escassa e muito irregular, com valores distintos de ilha para ilha, exibindo mesmo grandes variações intra-ilha. Os valores médios de precipitação são da ordem de 200-400 mm/ano. A média anual das precipitações, não tem ultrapassado os 300 mm para cerca de 65% do território, situados a menos de 400m de altitude. Os valores são ainda inferiores nas zonas abrigadas da influência dos ventos alísios. Pelo contrário, nas áreas situadas a mais de 500m de altitude e expostas aos ventos alísios, verificam-se precipitações superiores a 700 mm **(Hernández, 2008)**.

As temperaturas médias anuais variam entre 22º e 28ºC e, embora a temperatura máxima raramente ultrapasse os 30ºC, a sensação de calor persiste devido às fracas amplitudes térmicas. O mês mais quente é Setembro e os meses com temperaturas mais baixas situam-se entre Janeiro e Fevereiro. A localização deste arquipélago no oceano constitui um importante fator moderador da temperatura das ilhas, a temperatura do mar que rodeia o arquipélago não difere muito da temperatura atmosférica. A humidade relativa do ar é, em média de 75%, nas zonas baixas áridas e mais de 80% nas zonas de maior altitude. Estes valores ocorrem mais durante a noite e devem-se sobretudo à presença do oceano e dos alísios, podendo baixar quando influenciada pelos ventos do quadrante Este, durante a estação seca **(Antunes, 2008; Gonçalves, 2008; Hernández, 2008; Moreno, 2009)**.

d. Enquadramento Hidrológico Marinho

O comportamento dinâmico do mar na aproximação à faixa costeira é fundamental para a compreensão dos processos dependentes da sua ação que têm implicações na evolução atual do conjunto dos sistemas litorais. Este comportamento dinâmico agrupa-se em dois conjuntos principais: **(Neves, 2004)**

- Movimentos horizontais e verticais de massas de água, incluindo a ondulação junto ao litoral, as correntes e o *upwelling*.

- Variações cíclicas, episódicas e tendenciais do nível do mar, abrangem as marés, as sobrelevações de origem meteorológica (*storme surge*) e a variação secular do nível do mar.

A ondulação junto ao litoral é o principal agente modelador do litoral, seja pela ação direta das ondas sobre praias e arribas ou por ação indireta das mesmas. A ação direta promove processos erosivos e/ou transporte e deposição de sedimentos que constituem as praias. A ação indireta favorece a ocorrência de processos de meteorização que condiciona o tipo e distribuição de seres vivos existentes nas faixas costeiras **(Neves, 2004)**.

A direção e altura das ondas são determinadas através da utilização de dados quantitativos obtidos através de ondógrafos. No entanto, e uma vez que este equipamento não se encontra instalado em Cabo Verde, optou-se por recorrer a dados de satélite. No âmbito dos estudos para a reconstrução dos portos de Vale de Cavaleiros e Furna **(**RRI and BCEOM, 1995-96 *in* **Hidroprojecto, 1997b)**, utilizaram-se dados de satélite, satélites equipados com sensor de radar que permitiram determinações da altura significativa das ondas, e um modelo matemático de simulação da geração, propagação e atenuação das ondas de superfície associado a um modelo de previsão meteorológica. Os resultados obtidos através destes métodos foram considerados rigorosos e válidos para determinação das principais características do clima de agitação marítima de Cabo Verde.

Do conjunto de dados obtidos (Figura 2.1), retiram-se as seguintes conclusões:

- Os rumos da ondulação ao largo do Arquipélago de Cabo Verde são predominantemente de Nordeste e de Norte, em conjunto, representam cerca de 83% das ocorrências.
- A distribuição da altura das ondas mais frequente é inferior a 1,75m, havendo registos de menos de 1% com altura acima dos 3,75m.

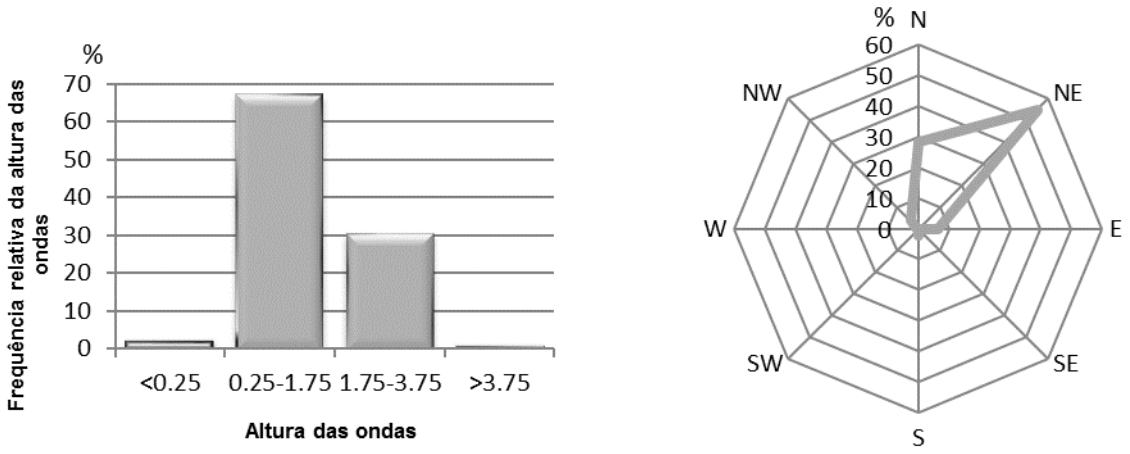

Figura 2.1- Características da ondulação em Cabo Verde. A: Frequência relativa da altura significativa das ondas. B: Frequência relativa da direção das ondas. (Fonte: Hidroprojeto, 1997b)

No âmbito dos estudos realizados para a ENAPOR em 2009, Alargamento do Terrapleno e Construção de uma Nova Via de Acesso na zona Nordeste do Porto Grande, São Vicente, obtiveram-se mais alguns dados relativos ao clima de agitação marítima de Cabo Verde, embora o relatório do referido projeto não especifique os métodos utilizados para a obtenção dos dados sobre o clima de agitação marítima. No entanto, iremos retirar deste relatório dois parâmetros que permitem complementar os dados acima referidos.

Deste relatório e como forma de complemento aos dados acima referidos (construção dos portos de Vale de Cavaleiros e Furnas) retiram-se as seguintes conclusões:

- A intensidade da ondulação é fraca a moderada, entre Agosto e Outubro verifica-se com frequência ausência de ondulação.
- Registos de ondas com altura significativa superior a 4m.
- A distribuição do período médio das ondas mais frequente está compreendido entre 6 e 10s, mas podem ocorrer períodos superiores a 14s, que deverão corresponder a ondas geradas por tempestades do Atlântico Norte ou Sul.

Embora haja uma regularidade de rumo e altura das ondas, convém salientar que este arquipélago é por vezes afetado por tempestades, conhecidas localmente por

"calemas". Caracterizam-se pelo seu grande comprimento de onda e portadoras de grande energia, que provocam violenta rebentação nas costas expostas. A ocorrência das "calemas" dá-se por intervalos irregulares, durante poucos dias de cada vez, são geradas longinquamente por tempestades ocorridas no Atlântico Norte e Sul. De Novembro a Abril o seu rumo é de Noroeste e de Norte, e de Junho a Outubro vêm de Sudeste e Sul **(Loid, 2009)**.

As marés, podem condicionar a ação erosiva da ondulação, principalmente se ocorrer em situação de preia-mar viva em litorais sujeitos a uma amplitude de maré macrotidal.

Atualmente o Arquipélago Cabo Verdiano tem em funcionamento 3 marégrafos, distribuídos pelas ilhas de São Vicente (Porto Grande), Sal (Palmeira) e Santiago (Porto da Praia). As marés são semi-diurnas e, seguindo a classificação estabelecida por **Davies (1964)**, apresentam-se com uma amplitude máxima reduzida do tipo microtidal (inferior a 2 metros).

2.2- Enquadramento da ilha de São Nicolau

A ilha de São Nicolau integra o grupo barlavento do arquipélago de Cabo Verde e está localizada entre as ilhas de São Vicente e Sal. A ilha de São Nicolau tem 343 km2 e é composta por dois municípios, Ribeira Brava e Tarrafal de São Nicolau, e três freguesias, Nossa Senhora do Rosário e Nossa Senhora da Lapa (a mais pequena das 3) pertencentes ao município da Ribeira Brava e a freguesia de São Francisco de Assis, no município de Tarrafal de São Nicolau. Em termos demográficos, viviam nesta ilha, à data dos últimos censos, 12.752 habitantes **(INE, 2010)**.

Figura 2.2- Enquadramento geográfico da Ilha de São Nicolau, Arquipélago de Cabo verde. Fonte: Morabitur

No que respeita à geomorfologia desta ilha, esta apresenta-se com uma configuração estreita e alongada, desenvolvendo-se na direção W-E. É nesta direção que a ilha apresenta a sua maior dimensão com cerca de 45 km, e a largura máxima de 25 km no sentido N-S **(Duarte, 2013)**.

A ilha de São Nicolau, tal como as restantes ilhas que compõem o arquipélago de Cabo Verde, é de origem vulcânica, tendo a sua cratera principal de formação no Monte Gordo. O Monte Gordo situa-se no sector ocidental da ilha, sendo este o local mais acidentado e tendo nos seus 1304m de altitude o seu ponto mais alto. Em São Nicolau predominam essencialmente as rochas basálticas existindo, no entanto, alguns afloramentos calcários em áreas que se elevaram acima do nível médio do mar atual **(Hidroprojecto, 1997a)**.

Duarte (2013) refere que na morfologia geral de São Nicolau se destacam formações salientes de relevo que ocupam grande parte do território. De entre estas formações o autor destaca: (i) as plataformas costeiras de cotas baixas que contornam a quase totalidade da ilha, relacionadas com derrames basálticos da última fase lávica; (ii) as formas de relevo acidentado, emergem-se da superfície

costeira de forma contínua; (iii) a crista montanhosa central. São segundo o autor, relevos majestosos e miudamente talhados pela erosão e que funcionam como barreira aos ventos húmidos.

Outros autores **(Monteiro & Cunha, 2011)** apontam esta ilha como sendo muito acidentada, com fortes declives e com a paisagem marcada por cristas e picos quando o relevo é sustentado por filões. Os autores dividem a topografia da ilha em duas zonas, uma situada a ocidente (direção do relevo N-S) destacando-se aqui os maiores relevos da ilha, nomeadamente o ponto mais alto da ilha, o Monte Gordo, e a outra, a Oriente, em que o relevo se apresenta numa direção de E-W, muito adelgaçado e desenhando uma crista com cerca de 3 km de comprimento, que vai desde o Monte Joaquim Matias até ao Morro Vermelho, tendo no Alto das Cabeças, a sua maior elevação, com 687 m de altura.

São Nicolau é igualmente caracterizado por um clima árido e semiárido e definido por três massas de ar principais: os alísios do Nordeste; os ventos de Sudoeste e o harmatão **(Duarte, 2013)**.Os ventos de Sudoeste são os responsáveis pela época das chuvas, que ocorre de Julho a Outubro, No sentido inverso, a estação seca vai de Novembro a Junho e é marcada pelos alísios do Nordeste **(Monteiro & Cunha, 2011; Duarte, 2013)**. O harmatão, vindo do deserto do Sahara é, segundo **(Duarte, 2013),** responsável por aumentar a aridez da estação seca.

Esta ilha apresenta-se, tal como as restantes, com precipitações escassas que se distribuem de forma irregular pela ilha.

As fontes acima citadas na caracterização do clima na ilha de São Nicolau não fazem referência a registos das precipitações médias anuais. No entanto, num estudo intitulado de "*Estudio de las especies agroforestales, forrajeras y fruteras con viabilidad para adaptarse a las condiciones edafoclimáticas* de Cabo Verde" de 2011, com apoio do Governo das Canárias, Direção Geral do Ambiente de Cabo Verde e ainda do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional da União Europeia, refere que as precipitações na ilha de São Nicolau, está em torno dos 700 mm/ano **(Hernández & González, 2011)**.

CAPÍTULO 3- METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE VERTENTE E EROSÃO COSTEIRA

3.1- Metodologia geral

Neste capítulo dar-se-á início à construção do SIG onde será criado todo o modelo de suscetibilidade, tanto à dinâmica de vertentes como à erosão costeira. Relativamente à erosão costeira, serão utilizados métodos distintos, uma vez que não foi possível utilizar sempre o mesmo método nos subtemas respeitantes às zonas costeiras. Assim, foram realizados 3 métodos que consistem em determinar a erosão na faixa costeira, faixa esta que compreende uma largura de 100m, a erosão das praias e finalmente, a taxa de recuo da linha de costa, embora este último método, como referido no capítulo 1, tenha sido aplicado unicamente na praia do Tarrafal na ilha de Santiago, pelo que será todo ele tratado num capítulo em separado. A justificação detalhada da aplicação destes métodos serão descritos adiante no presente trabalho.

De seguida resumem-se as 4 etapas a ser realizadas e que são fundamentais para a obtenção dos resultados pretendidos.

i. A primeira etapa diz respeito à conceção de todo o modelo que será implementado no SIG. Nesta etapa, de acordo com a metodologia utilizada, definem-se as variáveis (fatores de predisposição) de entrada no modelo e estrutura-se a base de dados, onde será criado o inventário com os movimentos de vertente e sistemas de praia, objetos deste estudo;
ii. A etapa mais morosa incide sobre os métodos de aquisição, criação e tratamento da informação geográfica para integração no SIG. A aquisição de informação, como iremos ver adiante neste trabalho, foi adquirida de forma indireta. A informação adquirida para elaboração do presente estudo baseou-se em: i) Ortofotomapas; ii) Altimetria (curvas de nível e MDT); iii) Fatores de predisposição responsáveis pelo desencadeamento de movimentos de vertente gerados a partir do MDT (Declive, exposições e curvatura das vertentes); iv) Geologia; e v) Uso/Ocupação do solo. Posteriormente à

aquisição de informação, procede-se ao tratamento de toda a informação adquirida através da classificação/reclassificação dos fatores de predisposição. Para concluir esta etapa é necessário proceder à criação de informação, gerando inventários dos movimentos de vertente e dos sistemas de praia. Os inventários serão criados através da técnica de fotointerpretação com base nos ortofotomapas disponíveis (2003 e 2010) e na altimetria 1: 10 000 (curvas de nível com equidistância entre si de 5m). Na impossibilidade de realizar trabalho de campo, utilizar-se-á a ferramenta Google Earth 3D no apoio a dúvidas que possam surgir na identificação de possíveis movimentos de vertente;

iii. Nesta etapa, serão apresentados os métodos utilizados para determinar as suscetibilidades a movimentos de vertente e erosão costeira. Esta etapa consiste no processamento e análise de dados obtidos. Aqui será trabalhada toda a informação obtida nas etapas anteriores, será também indicado ao sistema a forma como deverá relacionar essa mesma informação, neste caso, utilizando métodos estatísticos designadamente o método estatístico bivariado - Método do Valor Informativo (Vi); e Análise Multicritério (AMC) - com base na Combinação Linear Ponderada (CLP), métodos que irão permitir calcular a suscetibilidade dos fenómenos em estudo;

iv. Por último, os resultados finais. Esta etapa não sendo a mais morosa é de extrema importância, pois requer uma análise rigorosa dos resultados que permita a fiabilidade do modelo. Caso os resultados não estejam de acordo com o esperado e que revelem algum tipo de erro, o modelo deverá ser corrigido e processado novamente. A validação do modelo preditivo dos movimentos de vertente será feito através das taxas de sucesso.

A classificação das áreas cartografadas como suscetíveis à ocorrência de movimentos de vertente será feita com base em 5 classes de suscetibilidade: Muito baixa; Baixa; Moderada; Elevada e Muito elevada. Relativamente à classificação das áreas cartografadas como suscetíveis à erosão costeira esta será feita com base em 3 classes: Reduzida; Moderada e Elevada. Os métodos utilizados para a classificação de ambas as cartografias serão descritos adiante no presente trabalho.

3.2- Fontes de informação

Neste ponto tratar-se-á da base de informação recolhida para a realização do presente trabalho. Para a realização de um trabalho de análise de suscetibilidade e risco associados a movimentos de vertente e erosão costeira é importante que a base de informação a recolher seja sólida e coerente.

Os métodos de aquisição de informação podem ser de dois tipos: diretos ou indiretos. Os métodos de aquisição diretos são obtidos diretamente sobre a superfície topográfica real e podem ser obtidos através de: Radar, Laser, GPS e Topografia. A principal vantagem que estes métodos apresentam é a sua precisão altimétrica, pois esta é muito elevada. No entanto, estes métodos têm a desvantagem de ser morosos e dispendiosos, o que limita a sua aplicação. Os métodos indiretos são obtidos através de documentos analógicos ou digitais elaborados previamente e podem ser obtidos por: Estereorestituição e vetorização.

Na tabela B1 (anexo B) apresenta-se a informação e respetivas fontes de recolha utilizadas para a realização do presente trabalho. Importa referir que a informação recolhida reporta ao método de aquisição indireto.

Como se poderá verificar na tabela B1 (anexo B), as fontes de informação, a estrutura e formato dos dados são distintos. Desta forma, a integração de toda a informação adquirida num sistema de informação geográfica carece de um conjunto de tarefas a realizar, tarefas estas que depois de concluídas irão possibilitar que toda a informação se encontre uniformizada e pronta a ser integrada num SIG.

No contexto anteriormente descrito, o conjunto de tarefas a realizar no presente trabalho serão os seguintes: i) Converter formato do ficheiro - Ex. DGN para SHP; ii) Georreferenciação[1] e transformação de sistema de coordenadas - Ex. Fotografias aéreas; iii) Criação e preenchimento da base de dados alfanumérica; Ex. Inventários; iv) Vetorização - Ex. Inventário dos movimentos de vertente; v) Conversão para estrutura matricial (raster) - Ex. Fatores de predisposição;

[1] Esta tarefa é respeitante ao capítulo 5

Em primeiro lugar, procedeu-se à conversão dos ficheiros CAD (dgn) para formato ArcGis (Shapefile). Este procedimento, segundo **Garcia (2012)**, é realizado de forma a se evitar conflitos com a informação por esta não se encontrar no formato nativo do programa a ser usado, o que poderá impossibilitar o processamento de algumas análises.

Na realização do presente trabalho, o projeto em SIG, foi elaborado com o sistema de referência Cabo Verde National Grid, projeção Cónica Conforme Lambert, datum WGS84. De tal modo, que toda a informação com sistema de referência diferente será convertida. Assim, a informação de base que não tenha um sistema de referência associado será necessariamente definida. Definir um sistema de referência num projeto SIG é indispensável para a sobreposição da informação cartográfica. A georreferenciação irá ser descrita no capítulo 6, do presente trabalho.

No que respeita à criação e preenchimento da base de dados alfanumérica, esta será descrita pormenorizadamente mais adiante neste trabalho. Estas bases de dados comportam os inventários dos movimentos de vertente e dos sistemas de praias. No caso da vetorização, será realizada na criação dos inventários dos movimentos de vertente e sistemas de praias. Esta tarefa irá ser realizada com apoio no ortofotomapa mais recente (2010) e na cartografia de base na escala 1:10 000.

Por fim, a conversão para estrutura matricial de toda a informação em formato vetorial. Todo o modelo de suscetibilidade à ocorrência de movimentos de vertente será realizado em estrutura matricial. Por sua vez, o modelo de suscetibilidade à erosão das praias será realizado em formato vetorial.

3.3- Determinação de fatores de predisposição à ocorrência de movimentos de vertente

Segundo **Garcia (2012),** os modelos de suscetibilidade a movimentos de vertente de base estatística baseiam-se na relação espacial entre as instabilidades e os fatores que as condicionam, direta ou indiretamente. De acordo com **Zêzere (2005),** as

causas dos movimentos de vertente são múltiplas e podem verificar-se em simultâneo, alertando para a dificuldade em definir qual delas é responsável pela rutura. Desta forma, na tentativa de definir as causas dos movimentos podem incorrer em erros.

Em 2005, Glade e Crozier estabeleceram três estádios de estabilidade de vertentes (estabilidade, estabilidade marginal e instabilidade ativa) que ajudam na compreensão das causas e desenvolvimentos de instabilidade. Os mesmos autores definem ainda três fatores de instabilidade: fatores de predisposição; fatores preparatórios e fatores desencadeantes.

Os fatores de predisposição são, segundo **Zêzere (2005)**, estáticos e inerentes ao terreno, condicionando o grau de instabilidade potencial da vertente e determinando a variação espacial do grau de suscetibilidade do território à instabilidade. No que respeita aos fatores preparatórios, este autor refere que estes são dinâmicos e promovem a diminuição da estabilidade da vertente, sem iniciar o movimento. Os fatores desencadeantes representam a causa imediata da instabilidade e determinam o ritmo temporal dos movimentos de vertente **(Zêzere, 2005)**.

Neste trabalho foram considerados 6 temas como fatores de predisposição para a ocorrência de movimentos de vertentes: altitude, declive, exposição, perfil transversal das vertentes, litologia e uso/ocupação do solo.

Dos 6 fatores de predisposição escolhidos, 4 são derivados a partir do modelo digital de terreno (MDT). A elaboração do MDT foi suportada nos pontos cotados e nas curvas de nível que, segundo **Matos (2008)**, são elementos fundamentais na representação do relevo, permitindo, através destes elementos conhecer as coordenadas cartográficas ou geodésicas e a altitude. No que respeita às curvas de nível o mesmo autor refere que estas representam a interseção do terreno com uma superfície de nível de uma dada altitude. Esta informação encontra-se na escala 1:10 000, sendo a equidistância entre curvas de nível de 5m. (Tabela B1, anexo B)

O tamanho da célula a utilizar no presente trabalho é de 10x10m, representando deste modo áreas de 100m2. **Garcia (2012)** refere que o uso de maior pormenor/resolução nem sempre é a melhor solução, salientando ainda que o

aumento de pormenor determina uma maior dependência da qualidade da cartografia de base. Tendo em conta que a equidistância entre as curvas de nível é de 5m, entendeu-se que o tamanho de célula de 10m é ajustado à escala de trabalho.

Os fatores de predisposição considerados para o presente trabalho, devem ser alvo de tratamento, procedendo à classificação e reclassificação quer de variáveis contínuas quer de variáveis categóricas. Segundo **Reis *et al.,* (2003)** os processos de modelação em SIG consistem na utilização conjunta de informação espacial, princípio que acarreta algumas dificuldades a este processo. As dificuldades apresentadas por este autor devem-se sobretudo ao fato de se combinarem diferentes temas cartográficos, que frequentemente são constituídos por diferentes tipos de dados. Seguidamente o autor refere que a informação em formato digital pode ser representada de várias formas, a que estão associadas diferentes tipos de valores. Estes valores são: elementos discretos com valores nominais; elementos discretos com valores racionais; informação contínua com valores nominais e informação discreta com valores nominais.

Neste contexto, a aplicação do modelo do método do Valor Informativo no presente trabalho exige duas condições essenciais, sendo que a primeira implica que todas as variáveis devem ser contínuas, ou seja, estas variáveis têm que cobrir a totalidade da área de estudo. Na segunda, o valor associado a cada uma das variáveis deverá ser interpretado como informação nominal.

Garcia (2012) refere que as variáveis contínuas que apresentem uma infinidade de valores, como são os casos dos declives, devem ser classificadas de modo a poderem ser comportáveis estatisticamente, o que não seriam caso fossem aplicadas em dados brutos. O mesmo autor alerta para o fato de não serem apenas as variáveis contínuas a necessitar de classificação, as variáveis categóricas também devem ser alvo de tratamento semelhante, uma vez que, podem apresentar um número excessivo de classes (ex. Geologia e Ocupação do solo). O autor justifica esta medida com o fato de a informação homogeneizada poder permitir a diminuição de divergência de resultados devido a problemas na cartografia de base. O citado autor acrescenta ainda que, o fato de se ter um número elevado de classes,

não garante melhores resultados, isto porque, muitas das classes podem apresentar as mesmas capacidades condicionantes e preditivas de movimentos de vertente.

Desta forma e de modo a evitar que ocorram erros no modelo, a informação adquirida para a realização do presente trabalho, será tratada de forma a preservar as condições aqui referidas. Deste modo as variáveis que se encontram fora destas condições e que serão tratadas no ponto seguinte deste capítulo são:

- Altitude;
- Declives;
- Exposições;
- Perfil transversal das vertentes;

Assim, os elementos discretos que possuem dados racionais, são transformados em informação contínua com valores racionais, que, por sua vez, vão dar origem a informação contínua nominal. Neste contexto, cada variável independente é constituída por um conjunto de classes, não sendo coincidentes entre si e possuindo probabilidades de ocorrência superiores a zero na área de estudo **(Reis, *et al*., 2003)**.

3.3.1- Análise dos fatores de predisposição

De seguida, será feita a descrição relativa ao tratamento das variáveis que seguidamente irão entrar no modelo de suscetibilidade a movimentos de vertente. Neste ponto do trabalho, pretende-se representar estatisticamente a distribuição das classes de cada variável pela área de estudo.

a. Altitude

A variável altitude foi classificada em 7 classes. A ilha possui uma altitude máxima de 1304 m, sendo a amplitude de classe 200m a que melhor se ajusta na classificação desta variável. Deste modo, a última classe agrega todos os valores superiores a 1200m.

São Nicolau tem uma altitude média de 270m (tabela 4). Analisando a distribuição das classes pela ilha, é possível formar dois grupos: (i) no primeiro grupo as três

primeiras classes (0-200; 200-400; 400-600) representam 91,5% da área total da ilha; (ii) o segundo grupo, compreendido entre as 4 últimas classes dos 600 m até à classe superior a 1200m, representa o restante da ilha, ou seja, 8,5% da superfície total. Em geral, no sector mais ocidental da ilha as altitudes variam de Noroeste para Sudeste, onde predominam os relevos mais elevados, destacando-se nesta zona o ponto mais alto da ilha, o Monte Gordo (1304 m). Na faixa costeira as altitudes são baixas, média de 20m, pois esta é dominada por plataformas costeiras de cotas baixas que contornam a quase totalidade da ilha (a classe 0-200m, representa 99,9% da totalidade desta faixa). No entanto, dentro desta faixa encontra-se a NNW junto à "Ponta do Pau" uma pequena área com altitudes entre os 200-400m. (Tabela 3; Figura 3)

Tabela 3- Distribuição das classes de altitude pelo total da ilha e na faixa de 100 m em São Nicolau, Cabo Verde.

Distribuição pela área total da ilha				Distribuição pela faixa costeira (100m)		
Classes	**Nº de células**	**Área ha**	**Área %**	**Nº de células**	**Área ha**	**Área %**
0-200	1583481	15834.81	45.94	149922	1499.22	99.93
200-400	1028947	10289.47	29.85	98	0.98	0.07
400-600	540438	5404.38	15.68	0	0	0.00
600-800	223075	2230.75	6.47	0	0	0.00
800-1000	54571	545.71	1.58	0	0	0.00
1000-1200	14561	145.61	0.42	0	0	0.00
>1200	1979	19.79	0.06	0	0	0.00
Total	**3447052**	**34470.52**	**100**	**150020**	**1500.2**	**100**
Máximo	1304(m)			381(m)		
Média	270(m)			20(m)		

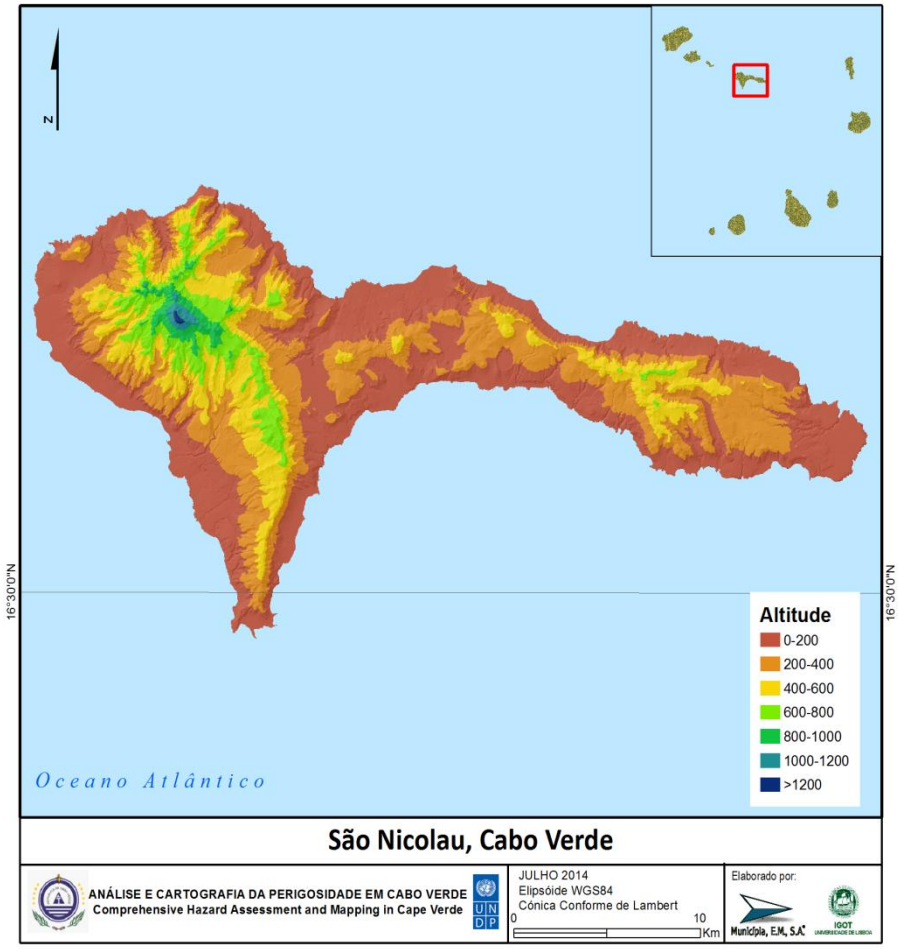

Figura 3- Distribuição das classes de altitude na área de estudo

a. Declive

Esta variável contínua com valores de declive entre 0º e 83º, foi classificada em 10 classes, com amplitude de 5º até aos 45º, sendo que na última classe englobaram-se todos os valores superiores a 45º até ao máximo registado, que são os 83º. (Tabela 3.1; Figura 3.1)

Como foi referido, a ilha de São Nicolau apresenta um declive máximo de 83º, sendo que a média de declive nesta ilha é de 20,4º. As classes entre 0 a 5º e 5 a 10º são as de maior representatividade nesta ilha. Analisando a tabela 3.1, poderíamos dividir as classes de declive em dois grupos, entre 0 a 25º e 25º a> 45º. O primeiro representa 65% da área de estudo e o segundo representa os restantes 35%. No primeiro grupo podemos destacar, as plataformas costeiras de cotas baixas que contornam a quase totalidade da ilha. No segundo grupo, destaca-se outra forma de

relevo, a crista montanhosa central, onde se insere o ponto mais alto da ilha, o Monte Gordo. Dentro deste segundo grupo, podem ser destacadas três áreas com vertentes abruptas, na maioria com declives acima dos 35º. A primeira área que se destaca são as vertentes expostas na parte ocidental da ilha, na localidade de Ribeira Brava, seguidamente uma faixa que se estende na direção N-S, desde a Vila de Ribeira Brava até ao Alto de Dobradeira e por fim, uma faixa com a direção de W-E, desde o Alto da Joaquina até à Ponta de Tope de Capa. No que respeita à faixa costeira, e seguindo o mesmo raciocínio, cerca de 77% desta faixa encontra-se entre 0º e 25º e os restantes 23% entre os 25º e superior a 45º. Nesta faixa com áreas onde o declive é maioritariamente superior a 45º, destacam-se as vertentes expostas a NW na Ponta do Morro (Praia Branca), e NNW desde a Ponta Pesqueiro da Cinta até à Ponta Espechim, na localidade de Ribeira Brava. Na zona leste da ilha, podemos encontrar nesta faixa áreas também elas abruptas, na Baía da Água Amargosa, e ainda mais a leste, desde a Ponta de José Martins até à Ponta Barroso. A figura 3.1, representa a distribuição das classes pela área de estudo, e nela estão identificados, através das setas a preto, os locais de maior declive nesta faixa costeira.

Tabela 3.1- Distribuição das classes de declive pelo total da ilha e na faixa de 100m em São Nicolau, Cabo Verde.

	Distribuição pela área total da ilha			Distribuição pela faixa costeira (100m)		
Classes	**Nº de células**	**Área ha**	**Área %**	**Nº de células**	**Área ha**	**Área %**
0-5º	515690	5156.9	14.96	42009	420.09	28.00
5-10º	550223	5502.23	15.96	36093	360.93	24.06
10-15º	439689	4396.89	12.76	17827	178.27	11.88
15-20º	382939	3829.39	11.11	10973	109.73	7.31
20-25º	352062	3520.62	10.21	8574	85.74	5.72
25-30º	330796	3307.96	9.60	7569	75.69	5.05
30-35º	303347	3033.47	8.80	7156	71.56	4.77
35-40º	212903	2129.03	6.18	6105	61.05	4.07
40-45º	126313	1263.13	3.66	4040	40.4	2.69
>45º	233090	2330.9	6.76	9674	96.74	6.45
Total	**3447052**	**34470.52**	**100**	**150020**	**1500.2**	**100.00**
Máximo		83.04			82.47	
Média		20.48			15.77	

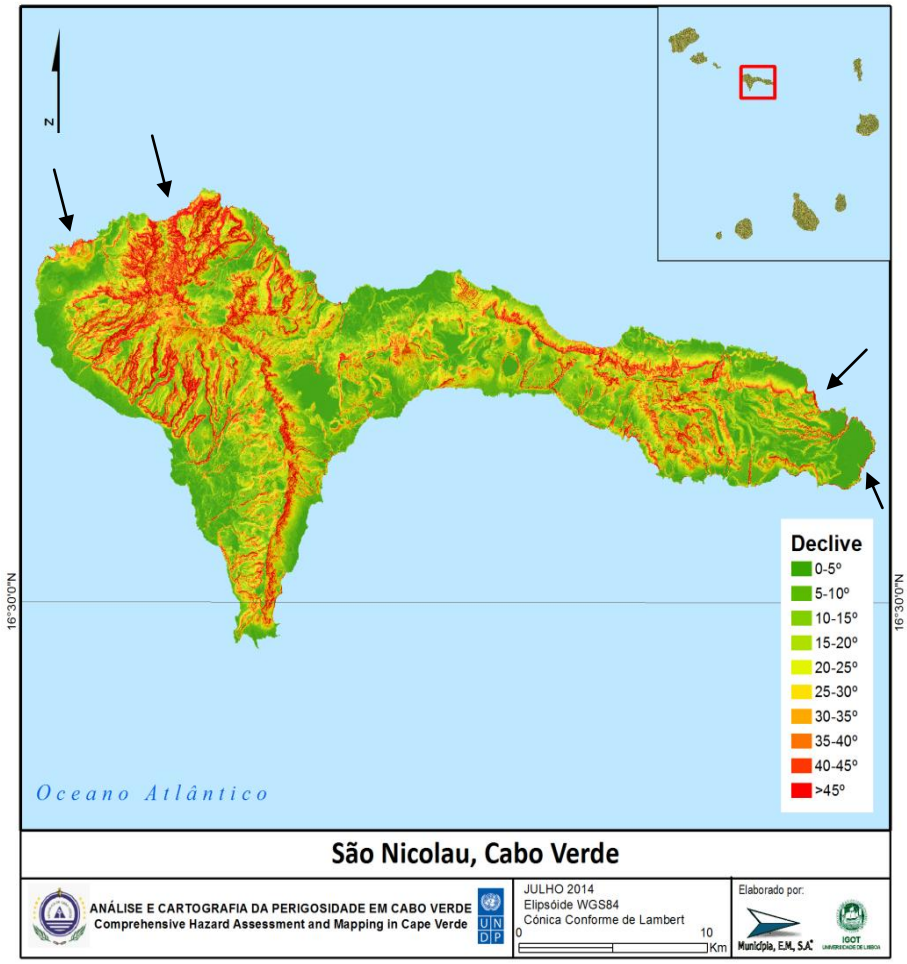

Figura 3.1- Distribuição das classes de declive na área de estudo

b. Exposição das vertentes

Seguidamente, as exposições também elas derivadas do MDT, foram classificadas em 9 classes. Em São Nicolau, as vertentes encontram-se expostos na sua maioria a Sudoeste (14,3% do total da ilha) e Sul (14,1% do total do território) (tabela 3.2; figura 3.2). Na faixa costeira, esta ilha apresenta vertentes maioritariamente expostas a Sudoeste e Norte, ambas com 15,1% do total da ilha na faixa costeira. (tabela 3.2, figura 3.2)

Tabela 3.2- Distribuição das classes de exposição pelo total da ilha e na faixa de 100m em São Nicolau, Cabo Verde.

Distribuição pela área total da ilha					Distribuição pela faixa costeira (100m)		
Classes	**Azimute**	**Nº de células**	**Área ha**	**Área %**	**Nº de células**	**Área ha**	**Área %**
Plano	-1	11388	113.88	0.3	393	3.93	0.3
Norte	0-22,5	406694	4066.94	11.8	22617	226.17	15.1
Nordeste	22,5-67,5	395784	3957.84	11.5	19110	191.1	12.3
Este	67,5-112,5	400456	4004.56	11.7	16343	163.43	10.1
Sudeste	112,5-157,5	435682	4356.82	12.7	16703	167.03	11.1
Sul	157,5-202,5	486756	4867.56	14.1	21332	213.32	14.2
Sudoeste	202,5-247,5	493605	4936.05	14.3	22660	226.6	15.1
Oeste	247,5-292,5	427624	4276.24	12.4	15369	153.69	10.2
Noroeste	292,5-337,5	389063	3890.63	11.3	15493	154.93	10.3
Total	**N/A**	**3447052**	**34470.52**	**100**	**150020**	**1500.2**	**100**

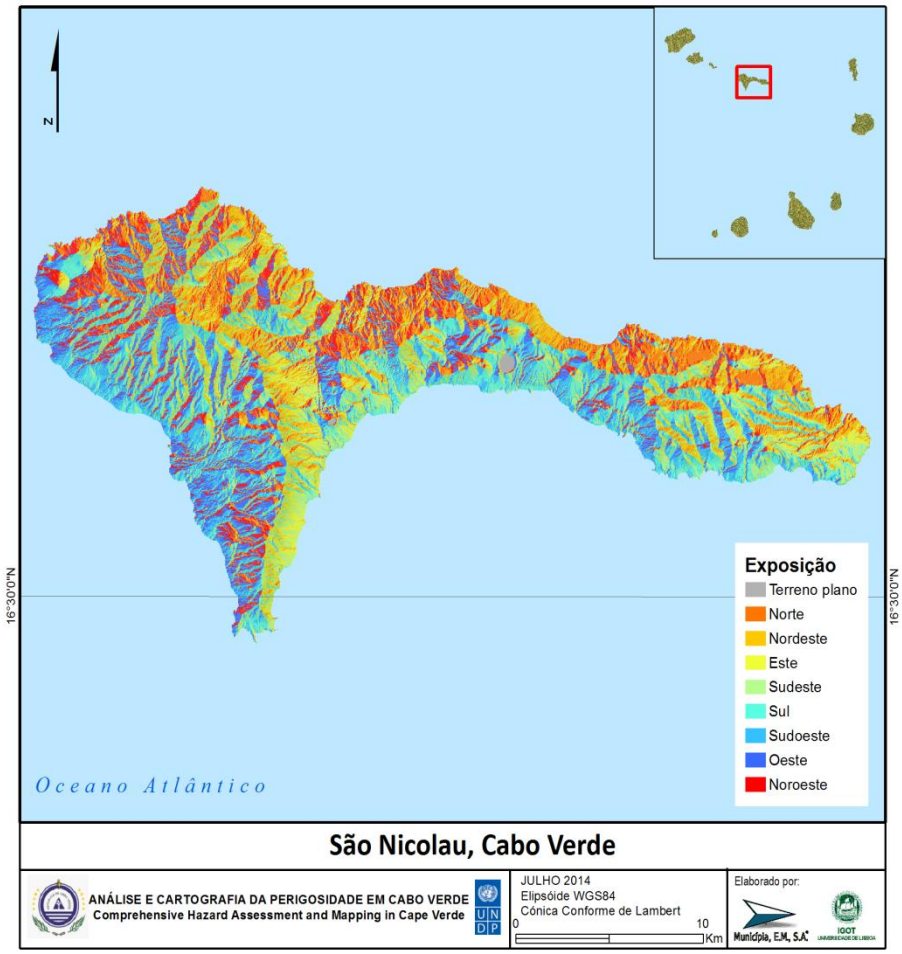

Figura 3.2- Distribuição das classes de exposição na área de estudo

c. Perfil transversal das vertentes

Esta variável, tal como as anteriores, é um fator que pode condicionar a ocorrência de movimentos de vertente pela influência no modo como a água se distribui. Em termos de escoamento, o perfil transversal de uma vertente controla a sua divergência ou concentração **(Garcia, 2012)**.

Segundo **Garcia (2012)**, na prática o cálculo desta variável é bastante influenciado pela dimensão da célula que se utiliza. No seu estudo, o autor realizou testes comparativos com células de dimensão variada (5,10,25 e 50m), utilizando o perfil transversal na realização dos testes. As conclusões deste teste mostram que uma maior resolução da célula não trás maior benefício na caracterização da forma da vertente. O autor salienta que, à medida que a resolução diminui, a homogeneidade aumenta, permitindo desta forma fazer uma boa associação entre os resultados obtidos e a realidade representada pelas curvas de nível. (Figura 3.3)

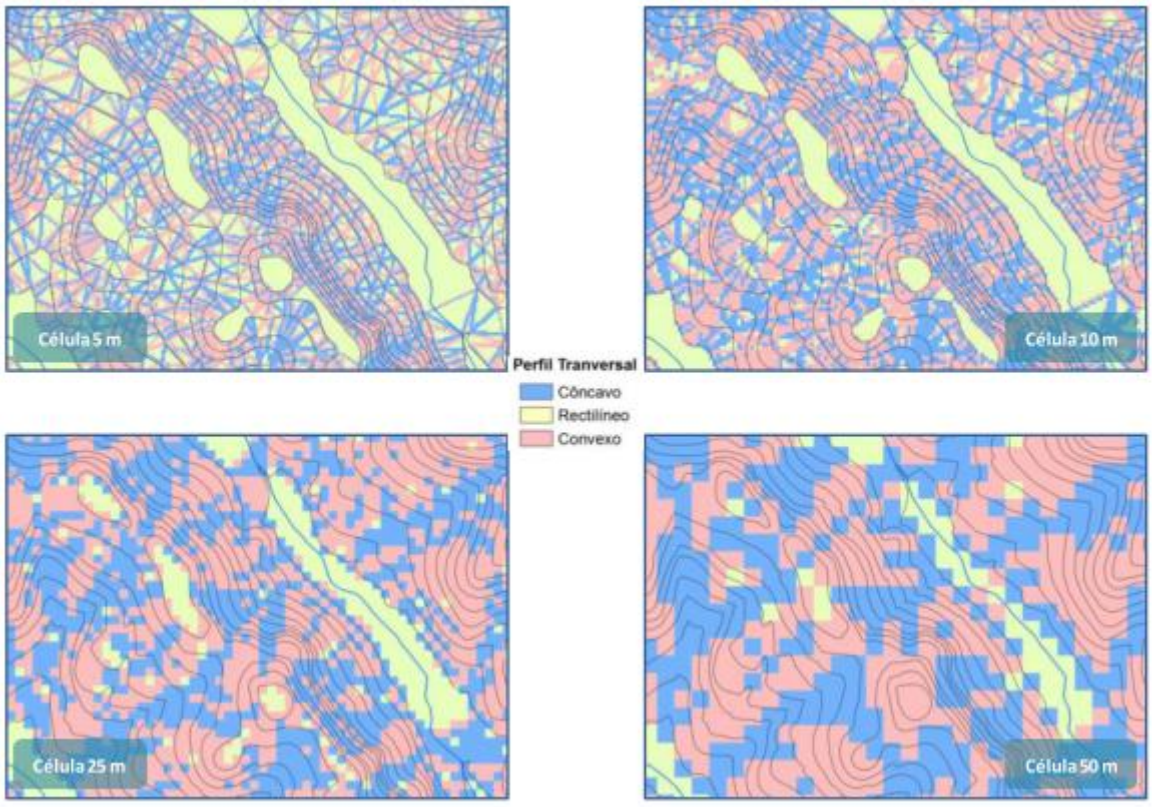

Figura 3.3- Perfil transversal da vertente a diferentes resoluções. (Fonte: Garcia, 2012)

Deste modo, e seguindo a mesma metodologia deste autor, realizou-se um teste com células de 10m e 50m com o objetivo de comprovar qual o tamanho de célula

que melhor se ajustaria na área de estudo. Os resultados obtidos mostram que o perfil transversal de vertente com célula de 10m é favorável em relação à célula de 50m. (Tabela 3.3; Figura 3.4) Uma vez que o perfil transversal das vertentes apresenta uma melhor consistência com uma célula de 10m, optou-se por não dar seguimento à metodologia realizado pelo autor na sua dissertação.

Tabela 3.3- Grau de ajuste dos movimentos de vertente ao tamanho de célula gerado no perfil transversal das vertentes em São Nicolau, Cabo Verde.

	Área abaixo da curva
Perfil transversal da vertente	
Célula 10m	0.574
Célula 50m	0.571

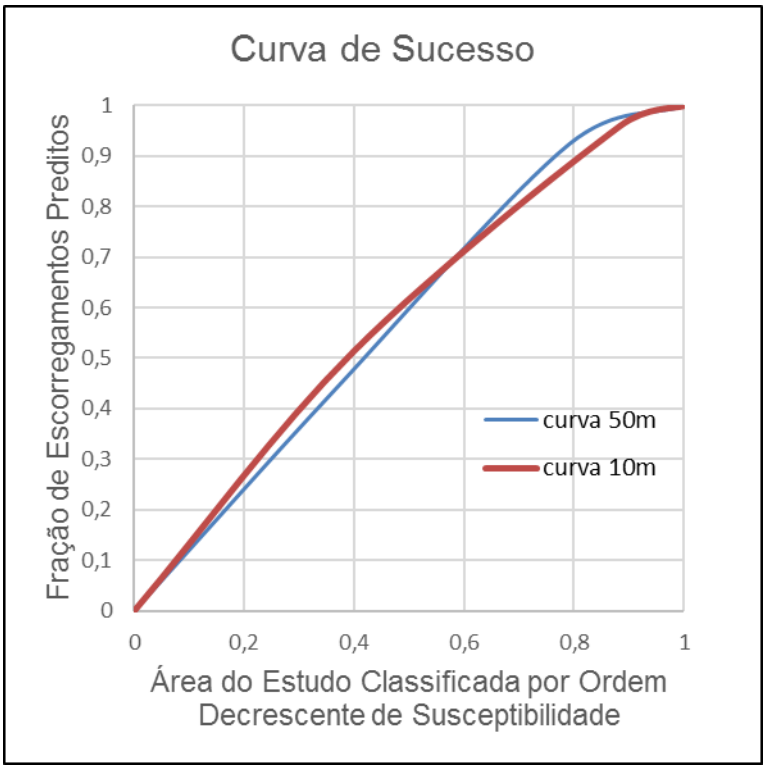

Figura 3.4- Curvas de sucesso de diferentes tamanhos de célula no perfil transversal de vertentes em São Nicolau, Cabo Verde.

Relativamente à sua classificação, foram definidas 3 classes. No caso do perfil transversal, segundo **Garcia (2012)**, os valores negativos indicam vertentes côncavas, os positivos estão associados a vertentes convexas e as superfícies retilíneas com valor associado de 0.

Na área de estudo, a classe com maior representação (42,2%) é a convexa. Seguida da classe côncava com 37% e a retilínea com 21%. (Tabela 3.4; Figura 3.5) Em sentido inverso, na faixa costeira, a classe de concavidade representa 35% da área total desta faixa, sendo que, a retilínea faz-se representar em 33% de São Nicolau e os restantes 32,2% da área são vertentes com perfil transversal convexo.

Tabela 3.4- Distribuição das classes de perfil transversal das vertentes pelo total da ilha e na faixa de 100m em São Nicolau, Cabo Verde.

Distribuição das classes de Curvatura das vertentes				Distribuição pela faixa costeira (100m)		
Classes	**Nº de células**	**Área ha**	**Área %**	**Nº de células**	**Área ha**	**Área %**
Côncava	1272800	12728	36.9	46939	469.39	34.7
Rectilínea	721350	7213.5	20.9	44663	446.63	33.0
Convexa	1454750	14547.5	42.2	43571	435.71	32.2
Total	**3448900**	**34489**	**100**	**135173**	**1351.73**	**100**

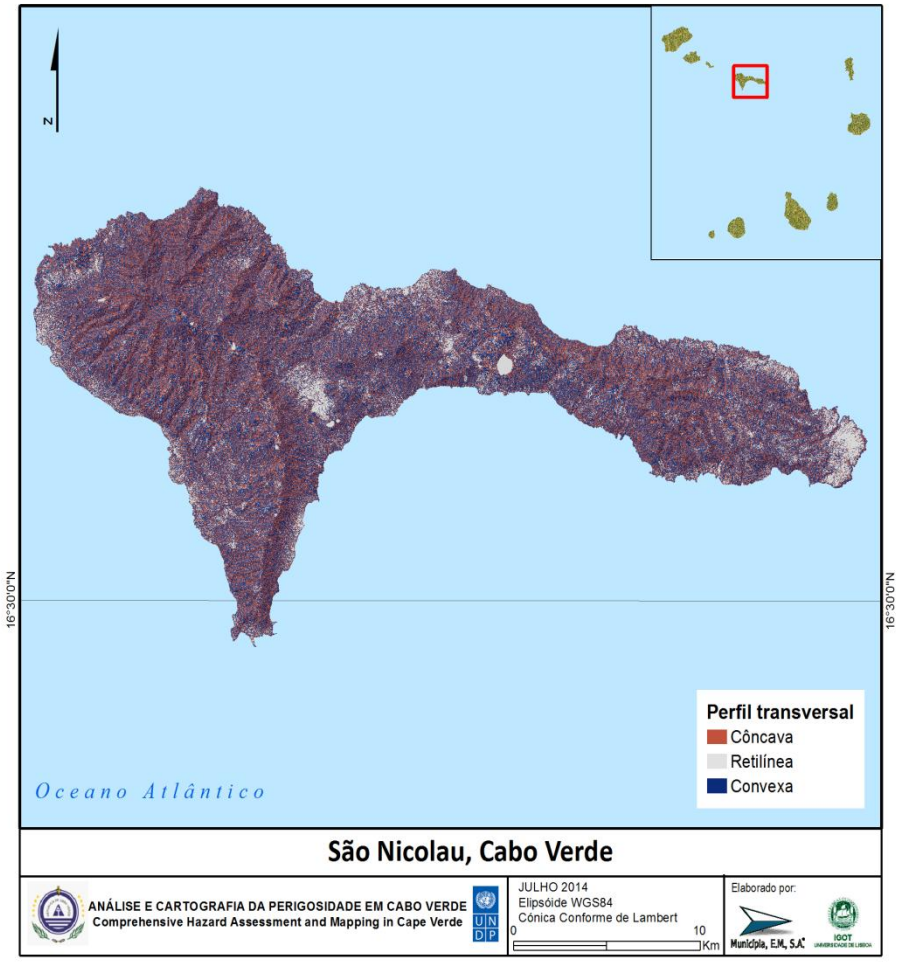

Figura 3.5- Distribuição das classes de curvatura na área de estudo

d. Litologia

O vulcanismo em São Nicolau estende-se desde o Miocénico até ao Quaternário. A estratigrafia vulcânica da ilha define-se, compreendendo do mais antigo para o mais recente, pelas formações seguintes: Complexo eruptivo antigo; Sedimentos marinhos do Miocénico; Formação Figueira de Coxe; Depósitos conglomeráticos-brechóides; Complexo eruptivo principal; Formação da Preguiça; Formação do Monte Gordo e Sedimentos do Quaternário **(Ramalho, 2011)**.

Das formações enumeradas, o Complexo eruptivo principal e a Formação do Monte Gordo (cones piroclásticos), representam cerca de 70% da geologia de São Nicolau. (Tabela 3.5; Figura 3.6) Realçam-se igualmente os Sedimentos do quaternário, (constituídos por aluviões, areias e depósitos de vertente) com cerca de 15% do total da ilha. (Tabela 3.5; Figura 3.6) As restantes formações afloram em áreas muito pequenas, algumas delas como uma representação quase insignificante.

A mesma tendência é verificada na faixa costeira, onde também predomina o Complexo eruptivo principal e a Formação de Monte Gordo (ambos com 43,6% do total da faixa). Contudo, são de salientar nesta faixa as classes respeitantes aos sedimentos quaternários (20,7%) e lavas submarinas superiores e inferiores (as duas com 22,2% do total da faixa costeira). (Tabela 3.5; Figura 3.6) A primeira distribui-se pela costa Norte seguindo ao longo da costa para Leste. As lavas submarinas superiores concentram-se essencialmente na costa Sul, desde a Baía da Fonte contornando toda a ponta Sul da ilha até à Baía Debaixo de Rocha. (Figura 3.6)

No que respeita ao tratamento desta variável, o procedimento foi diferenciado das anteriores. Nesta entendeu-se não proceder à sua reclassificação, ou seja, a informação digital adquirida já compreendia as 17 classes. (Tabela 3.5; Figura 3.6) No entanto importa referir que, na legenda (Figura A1, anexo A) do mapa geológico, estão referenciadas 18 unidades geológicas, sendo que na informação digital fornecida para a realização deste trabalho, apenas constam 17 classes. Tal fato explica-se por haver duas unidades (1ªConglomerados, calcários, calcarenitos, dunas fosseis, fossilíferos e 2ªConglomerados, calcários e calcarenitos, fossilíferos do monte Focinho), juntas numa só classe, que na tabela 3.5 está representada com

o seguinte nome: Conglomerados, calcários e calcarenitos. Esta opção tomada por parte das fontes que forneceram esta informação foi aceite e seguida neste trabalho dada, por um lado a muito reduzida representatividade na ilha de São Nicolau da 2ª unidade referida e, por outro, a semelhante composição das duas unidades geológicas agrupadas.

Contudo, importa referir que o número elevado de classes não coloca em causa a fiabilidade do modelo, pois não comprometeu os resultados.

Tabela 3.5- Distribuição das classes de litologia pelo total da ilha e na faixa de 100m em São Nicolau, Cabo Verde.

Distribuição das classes de Geologia				Distribuição pela faixa costeira (100m)		
Classes	**Nº de células**	**Área ha**	**Área %**	**Nº de células**	**Área ha**	**Área %**
Complexo Eruptivo Principal	1732756	17327.56	50.3	40603	406.03	27.1
Cones piroclásticos	664958	6649.58	19.3	24742	247.42	16.5
Lavas submarinas inferiores	24590	245.9	0.7	12214	122.14	8.1
Lavas submarinas superiores	29960	299.6	0.9	21152	211.52	14.1
Formação da preguiça	272133	2721.33	7.9	8575	85.75	5.7
Conglomerados, calcários, calcarenitos	2092	20.92	0.1	327	3.27	0.2
Aluviões, areias, depósitos de vertente	514945	5149.45	14.9	31001	310.01	20.7
Escoadas submarinas, subaérea e piroclásticos	51521	515.21	1.5	3268	32.68	2.2
Formação de Figueira de Coxe	39084	390.84	1.1	6474	64.74	4.3
Complexo filoniano de base e brechas intravulcânicas	77486	774.86	2.2	856	8.56	0.6
Mantos subaéreos intercalados, piroclastos	7823	78.23	0.2	0	0	0.0
Depósito conglomeráticos-brechóide	6291	62.91	0.2	728	7.28	0.5
Mantos, piroclásticos e chaminés fonolíticos	2565	25.65	0.1	0	0	0.0
Terraços, dunas fósseis e calcários	1988	19.88	0.1	48	0.48	0.0
Escoadas subaéreas, submarinas e preguiça	3038	30.38	0.1	0	0	0.0
Escoadas, chaminés, piroclásticos fonolíticos	6053	60.53	0.2	0	0	0.0
Mantos submarinos, piroclastos	10203	102.03	0.3	0	0	0.0
Total	**3447486**	**34474.86**	**100**	**149988**	**1499.9**	**100**

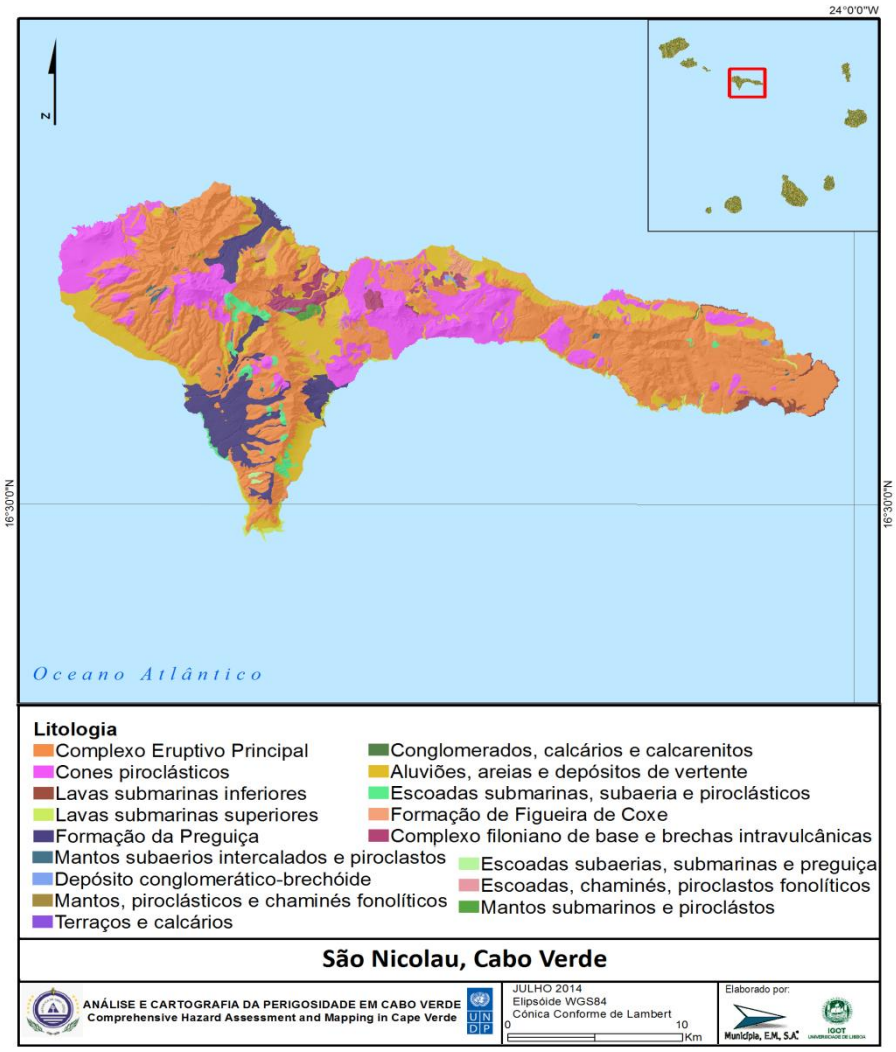

Figura 3.6- Distribuição das classes de litologia na área de estudo

e. Uso e ocupação do solo

Esta variável foi obtida através de diversas fontes de informação, conforme descrito na tabela B1 (Anexo B). Esta tal como a variável respeitante à litologia, não foi alvo de tratamento, pois já se encontra como informação contínua nominal. A esta variável também não foi feita qualquer reclassificação, tendo sido aceites as classes tal como estavam aquando da aquisição da informação.

Entre as 9 classes que esta variável apresenta, apenas duas têm representatividade significativa no total do território de São Nicolau, sendo a classe "Zona sem vegetação ou vegetação esparsa" aquela que maior representatividade tem no território (54,1%). Seguidamente a classe "Mato" representa 35% do total do

território, enquanto as demais classes têm uma representação a nível territorial quase nula ou muito reduzida. (Tabela 3.6; Figura 3.7)

A mesma tendência é seguida na faixa costeira, onde estas duas classes juntas representam mais de 90% do total da faixa costeira, remetendo as restantes para valores muito baixos e pouco significativos quanto à sua representação na faixa costeira. (Tabela 3.6; Figura 3.7)

Tabela 3.6- Distribuição das classes de uso e ocupação do solo pelo total da ilha e na faixa de 100m em São Nicolau, Cabo Verde.

Distribuição das classes de Uso do solo				Distribuição pela faixa costeira (100m)		
Classes	**Nº de células**	**Área ha**	**Área %**	**Nº de células**	**Área ha**	**Área %**
Área urbana	27655	276.55	0.8	2671	26.71	1.8
Arvoredo	185338	1853.38	5.4	3978	39.78	2.7
Mato	1205800	12058	35.0	22570	225.7	15.1
Zona sem vegetação ou esparsa	1863675	18636.75	54.1	114044	1140.44	76.4
Praia arenosa	3835	38.35	0.1	3780	37.8	2.5
Leito de ribeira	26993	269.93	0.8	1495	14.95	1.0
Área de cultivo	124605	1246.05	3.6	379	3.79	0.3
Área verde	489	4.89	0.0	15	0.15	0.0
Estradas	9082	90.82	0.3	374	3.74	0.3
Total	**3447472**	**34474.72**	**100**	**149306**	**1493.06**	**100**

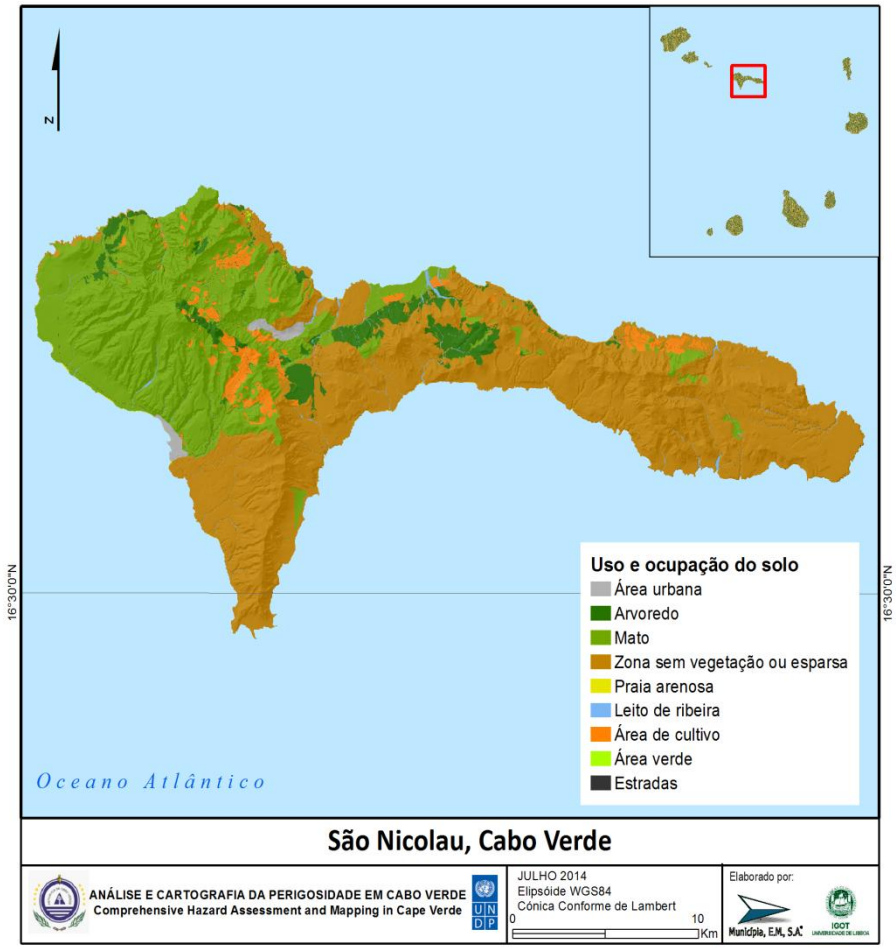

Figura 3.7- Distribuição das classes de ocupação de solo na área de estudo

3.4- Construção de inventários de movimentos de vertente e sistemas de praia

Ortofotomapas

Os ortofotomapas são um produto cartográfico que permite a visualização da superfície terrestre, executado a partir de fotografia aérea ortoretificada, removendo as distorções causadas pela inclinação da câmara e pelo relevo.

Chandler *et al*., (2001) *in* **(Matildes, 2009)** referem que um ortofotomapa tem as mesmas propriedades de um mapa, tendo todos os objetos na sua posição ortográfica correta. O ortofotomapa tem a particularidade de combinar as capacidades interpretativas da imagem original com a relevância posicional de um mapa. **Matildes (2009)**, acrescenta ainda que um ortofotomapa, tal como um mapa,

permite fazer medições de áreas, ângulos, distâncias entre outros, sem que haja necessidade de correções adicionais. Esta autora aponta como vantagem, contrariamente ao mapa, cujo conteúdo consiste em símbolos e linhas, o fato do ortofotomapa conter todos os elementos existentes na superfície topográfica real, uma vez que se trata da informação contida na imagem original.

Outra vantagem do ortofotomapa, quando comparado com a fotografia aérea, são as suas propriedades geométricas que o tornam uma ferramenta importante de apoio na aquisição de informação quantitativa sobre alterações sofridas pela superfície terreste, particularmente, na análise de ocorrência de movimentos de vertente e extração de informação associada **(Matildes, 2009)**.

Com base nos ortofotomapas será criado o inventário com os movimentos de vertente ocorridos na ilha de São Nicolau. Os ortofotomapas, como referido anteriormente, são fotografias aéreas ortoretificadas. Os planos de voo devem ser realizados respeitando alguns critérios que se tornam indispensáveis de modo a obter a melhor qualidade possível nas fotografias. Neste contexto, o plano de voo deverá ter em conta os seguintes requisitos:

- A época do ano: devido à maior elevação do sol (solstício de verão)
- A inclinação solar: entre as 11h da manhã e as 16h da tarde.
- Condições atmosféricas: designadamente céu limpo e solarengo.

Como se pode ver na figuras 3.8 e 3.9 (A e B) representadas à escala de visualização de 1:25 000, o sombreamento nas vertentes torna-se uma limitação na utilização da técnica de fotointerpretação. A figura 3.9 (A e B) representadas à escala de visualização de 1:1500, mostram a qualidade dos ortofotomapas utilizados na identificação dos movimentos de vertente. A qualidade é determinante quando se pretende utilizar a técnica de fotointerpretação, pois o rigor e precisão na delimitação dos polígonos que identificam os movimentos de vertente dependem muito da resolução do ortofotomapa, mas também das condições atmosféricas a quando da realização do voo, como já foi referido. No caso do ortofotomapa referente ao ano de 2003 (Figura 3.8A e 3.9A) este apresenta uma resolução de 0,25m^2 (Pixel=0,5m), enquanto o ortofotomapa de 2010 (Figura 3.8B e 3.9 B) apresenta uma resolução de 0,16m^2 (Pixel=0,4m). Para termos uma maior perceção das dificuldades encontradas

na fotointerpretação, tomamos como exemplo ilustrativo a figura 3.9 (A e B), em que está representada uma vertente. Embora a diferença entre os ortofotomapas seja de 0.09m^2, nota-se claramente no ortofotomapa de 2010 marcas visíveis indiciando a ocorrência de algum tipo de movimento de vertente (figura 3.9B), sendo que em relação ao ortofotomapa de 2003, estas não são tão elucidativas (figura 3.9A), apresentando uma característica de resolução significativamente mais baixa.

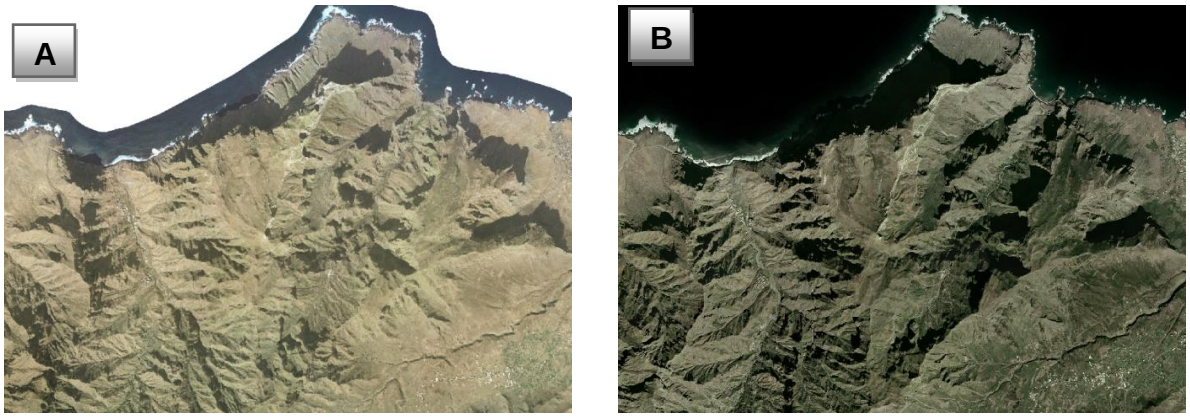

Figura 3.8- A: Ortofotomapa do ano 2003. B: Ortofotomapa do ano 2010. Ambos na escala de visualização 1:25 000. São Nicolau, Cabo Verde.

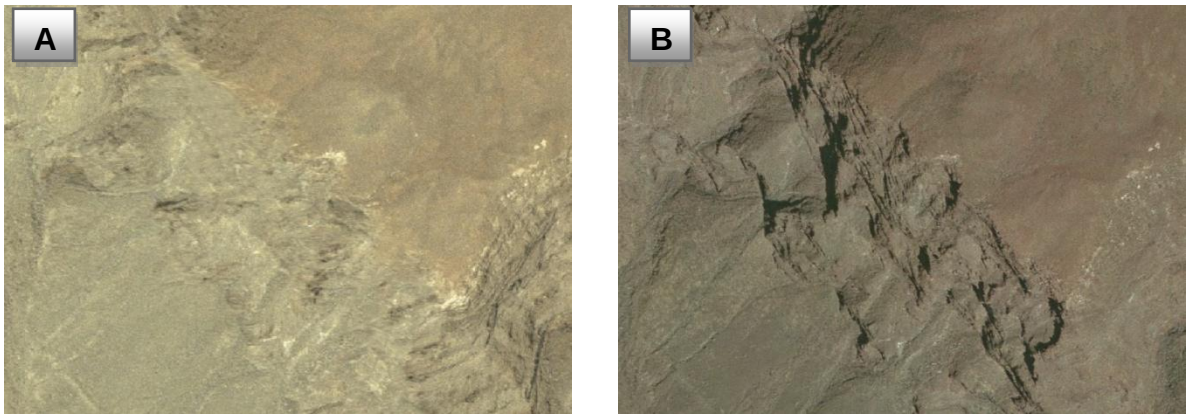

Figura 3.9- A: Ortofotomapa do ano 2003. B: Ortofotomapa do ano 2010. Ambos na escala de visualização 1:1500. São Nicolau, Cabo Verde.

3.4.1- Inventariação dos movimentos de vertente

A criação de um inventário de movimentos de vertente do ponto de vista da avaliação da suscetibilidade, perigosidade ou risco de instabilidade de vertente, é uma etapa imprescindível **(Garcia, 2012)**. Um inventário de movimentos de vertente

surge sistematicamente associado a um mapa e a uma base de dados. A sua representação gráfica pode considerar apenas um único ponto (geralmente o centróide) ou a totalidade da área instabilizada **(Oliveira, 2012)**. Segundo o mesmo autor, a capacidade preditiva dos mapas de sucetibilidade dependem da qualidade/robustez dos mapas de inventários de vertente, sendo estes fundamentais na avaliação da perigosidade associada à instabilidade de vertentes. No entanto, a fiabilidade destes inventários depende de diversos fatores, incluindo: i) a idade e frescura dos deslizamentos; ii) a persistência dos deslizamentos na morfologia da paisagem; iii) a qualidade das fotografias aéreas e a escala dos mapas de base; iv) a complexidade geomorfológica e geológica da área de estudo; v) o tipo e uso do solo, e as suas alterações ao longo do tempo; vi) a qualidade da estereoscopia na análise das fotografias aéreas; vii) o nível de experiência do técnico que realiza o inventário **(Guzzetti, 2005)**.

Segundo **Galli *et al*., (2008)** os inventários com movimentos de vertente são preparados com diferentes propósitos, incluindo: i) a localização dos movimentos de vertente discriminados pela sua topologia numa dada região; ii) a cartografia dos movimentos de vertente desencadeados por um único evento (ex: sísmico, precipitação intensa ou fusão rápida da neve); iii) a determinação estatística da relação área-frequência das áreas de rutura; e iv) o fornecimento de informação importante para a construção de modelos de suscetibilidade e perigosidade.

A inventariação de movimentos de vertente através da fotointerpretação, é uma técnica cada vez mais usual na comunidade científica. Recentemente, **Henriques (2009)**, **Piedade (2009), Garcia (2012)**, **Oliveira (2012), Epifânio (2013)**, e fizeram uso desta técnica para inventariação dos movimentos de vertente, com o mesmo fim a que se destina o presente trabalho, avaliação da suscetibilidade a movimentos de vertente.

No presente trabalho, a criação do inventário foi feito com base na metodologia e técnicas de fotointerpretação realizadas por **Pereira (2009)** e **Oliveira (2012)**. Algumas destas técnicas são descritas seguidamente.

Através da observação atenta dos ortofotomapas procuram-se as seguintes evidências de instabilidade de vertentes **(Pereira, 2009)**:

- Cicatrizes de movimentos e áreas de acumulação visíveis;
- Crescimento diferenciado da vegetação nas vertentes;
- Setores de estradas e taludes destruídos, sem aparente influência antrópica;
- Áreas de cores claras que possam indiciar cicatrizes frescas;
- Evidências de edifícios total ou parcialmente destruídos;
- Abruptos rochosos para identificar possíveis quedas de blocos;

Importa aqui salientar que a fotointerpretação apresenta algumas desvantagens no que respeita à identificação de vestígios de instabilidade. As modificações no uso e ocupação do solo, seja por processos naturais (erosão, crescimento do coberto vegetal), seja por influência antrópica (atividade agrícola, alteração do tipo de uso do solo), dificultam na identificação de possíveis movimentos ocorridos numa série temporal mais longínqua. Esta situação é mais evidente em movimentos de pequena dimensão e mais superficiais **(Garcia, 2012)**. Pelo contrário, a fotointerpretação facilita a identificação de movimentos de maiores dimensões **(Pereira, 2009)**.

As técnicas aqui utilizadas baseiam-se no compromisso entre ortofotomapas e a morfologia do terreno. Assim, este ponto do capítulo servirá para explicar os processos metodológicos afetos à fotointerpretação dos movimentos de vertente. A informação de base utilizada são os ortofotomapas digitais de 2003 (resolução de 0,5m) e 2010 (resolução de 0,4), altimetria do terreno (curvas de nível com equidistância de 5m), à escala 1:10 000, MDT e declives. (Tabela B1, anexo B)

A criação do inventário pressupõe a construção de uma base de dados geográfica. A base de dados contém os seguintes campos: (Figura 3.10)

i) ID – Identificador do movimento de vertente identificado;

ii) Grau de certeza – Corresponde ao grau de certeza que o técnico tem em relação à ocorrência de determinado movimento;

iii) Tipologia – Sempre que for possível, o técnico deverá identificar a tipologia correspondente ao movimento de vertente identificado.

iv) Observações – Este campo serve essencialmente como auxiliar de memória, sobretudo em casos onde o grau de certeza seja dúbio. O técnico deverá fazer um breve apontamento sobre a informação em que se apoiou para identificar o respetivo movimento para posterior confirmação no campo.

ID	Grau_de_certeza	Tipologia	Observações	Shape_Length	Shape_Area
1	Sim	Deslizamento Rotacional	Apoio nas curvas de nível e Orto 2003	135.252557	1274.503865
1	Sim	Deslizamento Rotacional	Apoio curvas de nível	155.674321	1520.789928
1	Sim	Deslizamento	Apoio curvas de nível	171.241285	1950.899328
1	Sim	Deslizamento Rotacional Superficial	Apoio curvas de nível	149.619697	1257.152093
1	Sim	Deslizamento	Apoio curvas de nível	177.790332	1331.787224
1	Sim	Deslizamento	Identificado pelas curvas de nível	211.446521	1957.215902
1	Sim	Deslizamento Roracional Superficial	Apoio curvas de nível	232.53173	3156.443813
1	Não	Deslizamento Translacional Superficial	G. Earth não mostra nada (2004)	256.844801	3432.063568
1	Sim	Deslizamento Translacional	Marcas no terreno	212.124197	2996.337526
1	Sim	Deslizamento	<Null>	134.540302	1077.510435
1	Sim	Escoada	<Null>	258.499663	1353.627746

Figura 3.10- Características da base de dados do ficheiro de polígonos onde se encontram inventariados os movimentos de vertente da ilha de São Nicolau, Cabo Verde.

Tendo em conta a dimensão da área de estudo (343 km2), o tempo que estas técnicas requerem e a necessidade de cumprir os prazos estabelecidos para a realização deste projeto, era importante otimizar esse tempo da melhor forma possível. Deste modo, a área de estudo foi dividida por setores mais ou menos uniformes, de maneira a que cada setor fosse analisado com coerência. Seguindo a metodologia de **Pereira (2009)** e **Oliveira (2012)**, procuraram-se essencialmente áreas com declive abrupto, (áreas com declive abaixo de 15º têm menos probabilidade de ocorrência deste fenómeno) tendo sempre presente o apoio da fotointerpretação. Nesta perspetiva, as curvas de nível foram sobrepostas aos ortofotomapas, tornando-se essenciais no decorrer deste processo pois permitiram em algumas situações identificar movimentos que nos ortofotomapas não eram visíveis por não apresentarem marcas no terreno esclarecedoras devido sobretudo aos processos referidos anteriormente (naturais ou antrópicos). A interpretação das curvas de nível é feita através das irregularidades que estas apresentam. Assim, as inflexões nas curvas de nível na direção do topo da vertente formando uma concavidade e/ou as mesmas inflexões em direção à base da vertente formando uma convexidade significa que, no primeiro caso a concavidade indicia a depleção do movimento e, no segundo caso, a convexidade indicia acumulação do material deslizado. (Figura 3.11) No entanto, importa referir que a validação dos movimentos inventariados através de ortofotomapas é normalmente feita através de trabalho de campo para garantir a qualidade e robustez do inventário. Contudo, no presente estudo, dados os constrangimentos financeiros e de tempo, esse trabalho de campo

não foi possível ser efetuado. Desta forma, a solução encontrada como apoio a esta técnica, consistiu na conversão das curvas de nível num ficheiro KML, o que permitiu posteriormente sobrepô-las na ferramenta Google Earth 3D. Em algumas situações, como podemos documentar (Figura 3.13), esta ferramenta revelou ser muito útil na dissipação de dúvidas relacionadas com possíveis movimentos, até porque esta ferramenta possibilita a visualização de imagens mais antigas em relação ao ano do ortofotomapa (2010). Por este motivo, e na impossibilidade de se realizar o trabalho de campo, a ferramenta Google Earth 3D foi fundamental no apoio à inventariação.

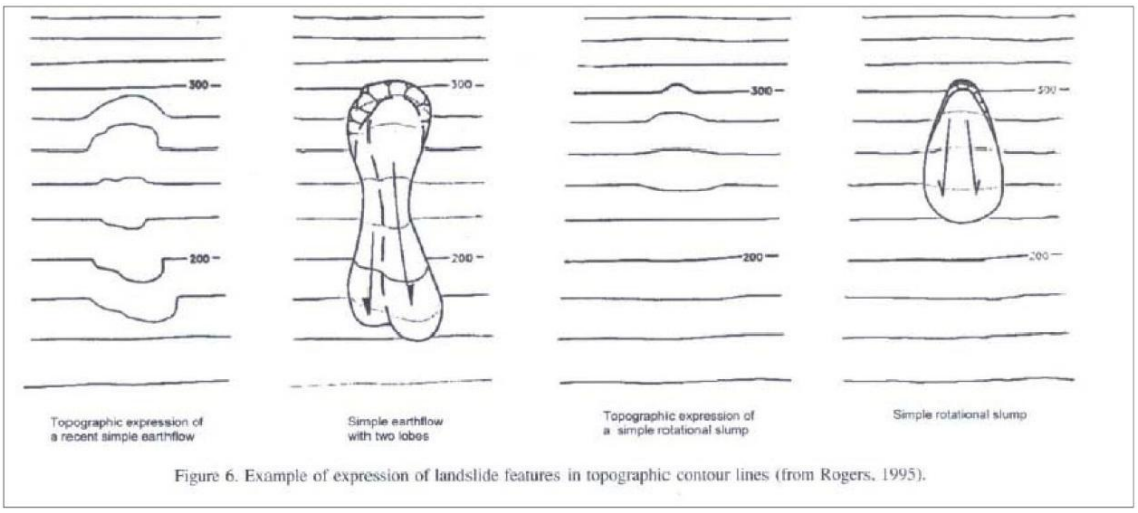
300
200
Topographic expression of a recent simple earthflow
Simple earthflow with two lobes
Topographic expression of a simple rotational slump
Simple rotational slump
Figure 6. Example of expression of landslide features in topographic contour lines (from Rogers, 1995).

Figura 3.11- Esquema de Interpretação de movimentos de vertente a partir de irregularidades nas curvas de nível. Movimento da esquerda representa uma escoada de lama e à direita um deslizamento rotacional (Wills e McCrink, 2002 *in* Oliveira, 2012).

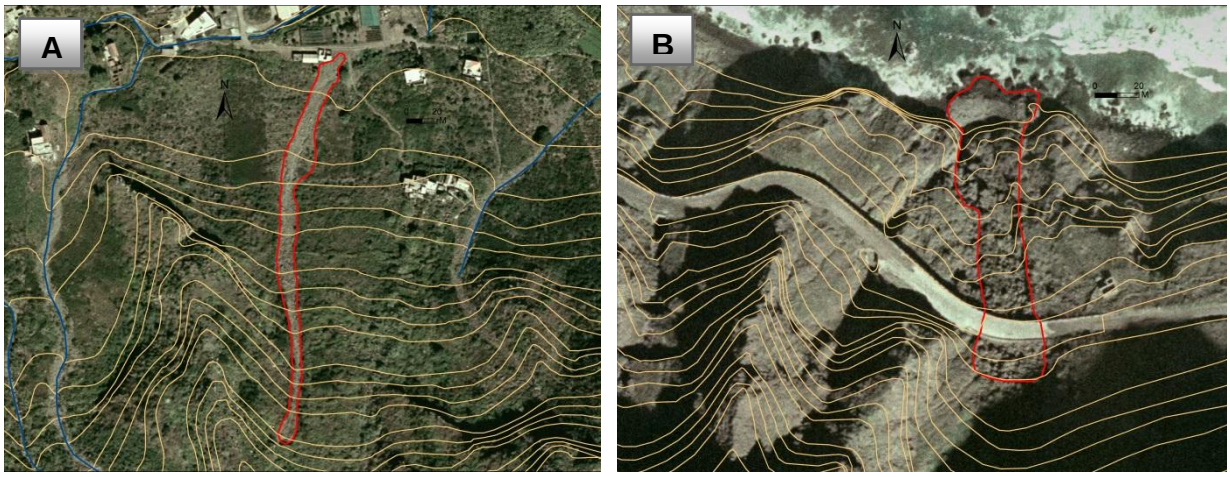

Figura 3.12- A: Exemplo de escoada na localidade de Covoada, São Nicolau. B: Exemplo de deslizamento, afetando a estrada de acesso à localidade de Juncalinho, São Nicolau.

Figura 3.13- Captação de imagem do google earth 3D. Delimitado a laranja está o deslizamento correspondente ao inventariado na figura 4.3.2B. O polígono à esquerda (amarelo) representa um outro tipo de movimento também ele inventariado. O polígono verde delimita um movimento de vertente ocorrido recentemente que não teria ocorrido à data do ortofotomapa utilizado no inventário. Fonte: Google Erath 3D, data:17/10/2013

Tabela 3.7- Inventário dos movimentos de vertente em São Nicolau, Cabo Verde.

Tipologia	Nº de ocorrências	Área m^2	Área ha	Área %
Desabamentos	84	606744.51	60.67	59.1
Deslizamentos	342	414709.10	41.47	40.4
Escoada	3	4440.50	0.44	0.4
Total	429	1025894.10	102.59	100
Média	----------	2391.36	0.24	--------

Neste inventário estão registadas 429 ocorrências, ocupando uma área total de 102,6 ha, sendo que a área média destes movimentos identificados é de 0.24 ha. (Tabela 3.7)

Dos 429 movimentos de vertente identificados, 84 são desabamentos (59,1% do total de todos os movimentos identificados). Identificaram-se na área de estudo 342 deslizamentos (40,4% do total do inventário), salientando-se o fato de não se ter feito a distinção entre os diferentes tipos de deslizamentos porque, tal como foi referido anteriormente, o trabalho de campo para validação do inventário não estava contemplado. Deste modo, para evitar erros de análise, e principalmente porque a distinção entre tipologias de movimentos de vertente não faz parte dos objetivos deste trabalho, optou-se por se identificar os movimentos de vertente apenas como desabamentos, deslizamentos e escoadas. As escoadas identificadas são diminutas,

tendo sido identificadas apenas 3, que representam 0,4% do total de movimentos identificados. A tabela 3.7 sintetiza a informação resultante do inventário dos movimentos de vertentes identificados na área de estudo.

3.4.2- Inventariação dos sistemas de praia

No que respeita à inventariação das praias de São Nicolau, os procedimentos realizados foram relativamente mais simples em relação ao inventário de movimentos de vertente. Desta forma, a informação utilizada na inventariação foi o ortofotomapa de 2010 e a curva de nível da cota dos zero metros na escala 1: 10 000. Os registos que correspondem aos troços de praia criados na tabela de atributos do inventário foram realizados do seguinte modo. Através da ferramenta editor do ArcGis procedeu-se à vectorização dos troços de praia sobre a curva de nível de cota zero metros, vectorização que teve o auxílio do Trace (o Trace permite vetorizar uma nova linha sobre outra já existente, tornando-se assim, numa ferramenta bastante útil em termos de rigor e de tempo neste tipo de trabalhos). A figura 3.14, mostra como ficou composta a base de dados do inventário.

Exposicoes	Expos_Pond	Caracteris	Caract_Pra	Praia_de_C	P_Calhau_P	Praia_de_A	P_Areia_Po	Shape_Length
W	1	Encastrada	20	Não	0	Com arriba	30	81.539476
N	30	Alongadas e Abertas	40	Não	0	Com arriba	30	165.999335
NW	10	Alongadas e Abertas	40	Terminal de Vale	10	Não	0	79.741165
N	30	Alongadas e Abertas	40	Não	0	Com arriba	30	289.898749
NW	10	Encastrada	20	Não	0	Com arriba	30	231.952084
N	30	Encastrada	20	Com arriba	20	Não	0	54.550128
NE	40	Encastrada	20	Com arriba	20	Não	0	270.832386

Figura 3.14- Base de dados do inventário dos sistemas de praia

Resumindo, a base de dados é composta por 4 campos. Os campos assinalados a amarelo (Figura 3.14) correspondem a: (i) exposição à ondulação; (ii) tipos de praia; (iii) praias essencialmente constituídas por calhaus\cascalho; e (iv) praias constituídas por areias. Os campos intercalados (azul) correspondem à ponderação atribuída a cada um dos fatores descritos anteriormente.

Este inventário teve como fontes de apoio o Atlas da Natureza da Costa e da Ocupação do Litoral **(Hidroprojeto,1997a)** e, uma vez mais, a ferramenta Google Earth 3D. Estas fontes serviram essencialmente para ajudar na identificação das praias no que respeita à sua localização e características dado que, através do ortofotomapa não era possível identificar, por exemplo, se uma determinada praia era composta por areias ou calhaus (Figura 3.15). Esta ferramenta tornou-se

bastante útil nesta tarefa, pois permitiu com recurso às fotografias disponíveis, identificar as características das praias (alongadas e abertas ou encastradas) e, principalmente, identificar o tipo de material que as constituem (areia ou calhaus/cascalho). Como se pode verificar na figura 3.15, através da imagem (C) é possível identificar as seguintes características que compõem a base de dados: Praia alongada e aberta; Praia de areia com duna e arriba para o interior, neste caso, dada a reduzida dimensão da duna, considerada como sistema praia-arriba. Estas características são fundamentais para a realização da metodologia anteriormente enunciada (§3.1) deste capítulo. O processo referente à aplicação desta metodologia será explicada mais adiante neste trabalho.

Neste inventário (Tabela B2, anexo B) foram identificadas 62 praias perfazendo uma extensão total de 11,16km de praia. Destas 62 praias identificadas, 43% estão expostas ao quadrante Norte e Nordeste, ou seja, expostas ao quadrante principal do regime de ondulação do arquipélago de Cabo Verde. Ainda no regime de exposição à ondulação, 45,2% das praias estão expostas a Sul, Sudoeste e Oeste, deste modo o regime de ondulação tem um impacto bastante reduzido nestas praias. As praias alongadas e abertas representam 60,2% do total de praias identificadas. No que respeita aos tipos de praia por sistema, o sistema Praia-Arriba representa 67,1% do total de praias identificadas em São Nicolau e o sistema Praia com sector terminal de vale representa 32,9%. Sendo que destas, 71,7% são praias de areia e 28,3% de cascalho\calhaus. (Tabela B2, anexo B)

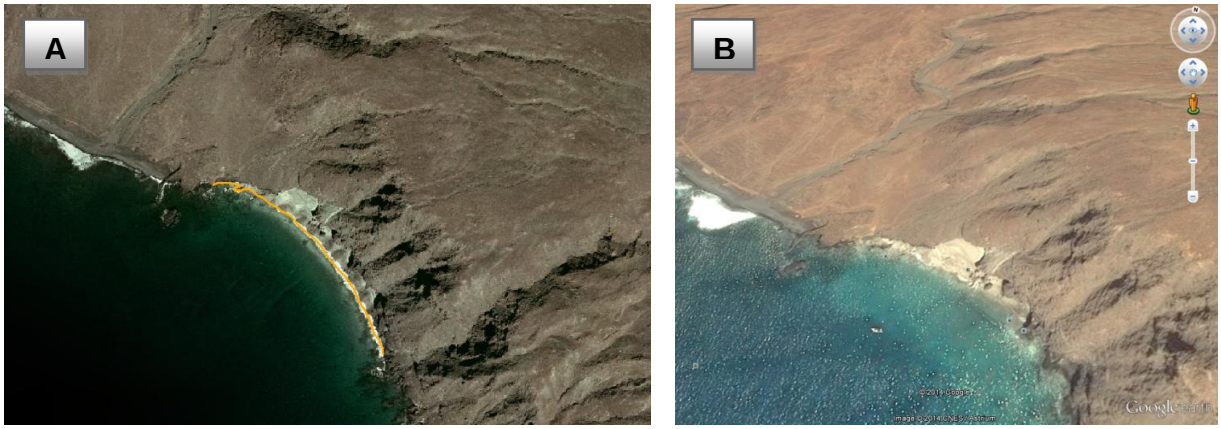

Figura 3.15- Praia localizada a SW de São Nicolau, Cabo Verde. A: Delimitação da praia no ortofotomapa de 2010. B: Praia identificada no Google Earth 3D. C: Fotografia da praia correspondente a A e B. Fontes: As imagens B e C foram captadas através do Google Earth 3D.

3.5- Metodologia de avaliação da suscetibilidade à dinâmica de vertentes

Como já foi referido no início deste capítulo, para determinar a suscetibilidade à ocorrência de movimentos de vertente na ilha de São Nicolau, utilizar-se-á o método estatístico bivariado - Método do Valor Informativo. É um método de abordagem indireta que fornece resultados quantitativos, sendo estes, adequados na avaliação quantitativa do risco associados a movimentos de vertente **(Guzzetti, 2005)**. A respeito da análise estatística bivariada, **Henriques (2009)** refere que este método combina cada fator de predisposição com o mapa da distribuição dos movimentos de vertente (inventário), atribuindo desta forma a respetiva ponderação com base na densidade de movimentos de vertente observada em cada classe de cada variável. Todos os processos realizados, desde a aquisição, tratamento e preparação de informação que irão integrar este SIG já foram referidos anteriormente. A figura 3.16 esquematiza todos os processos a serem realizados até ao resultado final. O software utilizado na avaliação e cartografia da suscetibilidade a movimentos de vertente em São Nicolau foi o **ArcGis 10** com as seguintes extensões: i) 3D ANALYST; ii) SPATIAL ANALYST TOOLS; iii) CONVERSION TOOLS; iv) EDITOR.

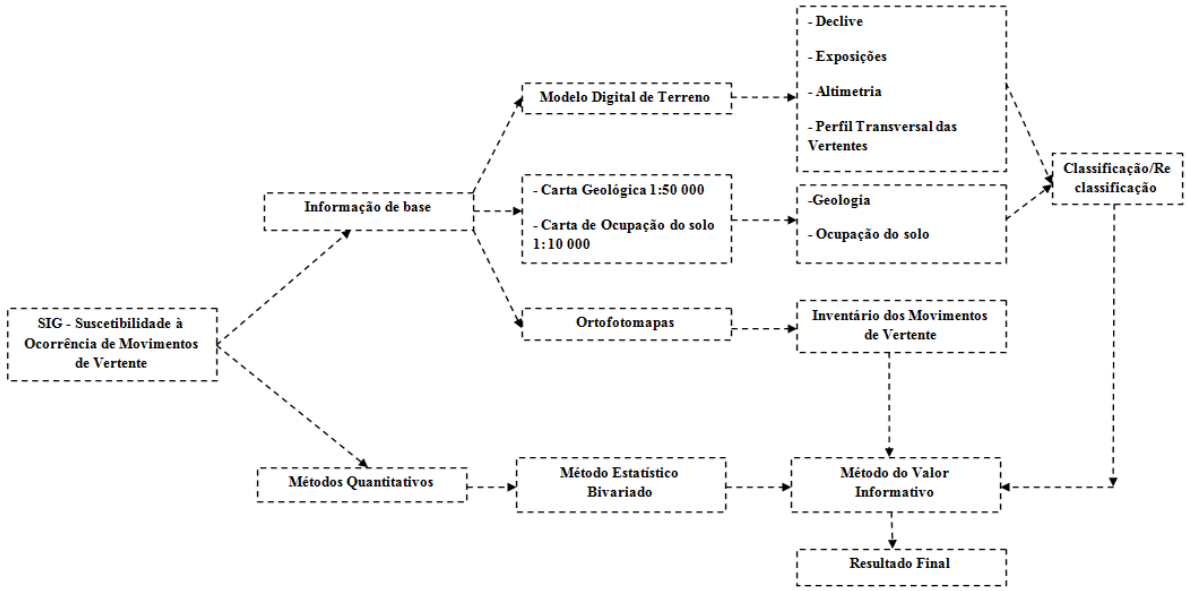

Figura 3.16- Esquema de avaliação da suscetibilidade à dinâmica de vertentes em São Nicolau, Cabo Verde

3.5.1- Método do Valor Informativo

O método estatístico bivariado do valor informativo é uma técnica adotada por **Yan (1988)** e **Yin e Yan (1988)**. Esta técnica tem sido utilizada por diversos autores obtendo resultados satisfatórios nos seus estudos sobre suscetibilidade à ocorrência de movimentos de vertente **(Garcia, 2002; Zêzere, 2002; Henriques, 2009; Pereira, 2009; Piedade, 2009; Garcia 2012)**. Este método, segundo **Zêzere (2005)**, pressupõe a definição prévia das unidades de terreno, bem como a definição de um conjunto de fatores de instabilidade. O respetivo valor informativo calculado para cada uma das variáveis é feito a partir da seguinte equação **(Yin & Yan, 1988)**:

$$li = log_n \frac{Si/Ni}{S/N} \qquad (1)$$

Sendo:

li = Diz respeito ao Valor Informativo da variável *i*;

Si = número de unidades de terreno com movimentos de vertente e com presença da variável *i*;

Ni = número de unidades de terreno com a presença da variável *i*;

S = número total de unidades de terreno com movimentos de vertente na área de estudo;

N = número total de unidades de terreno na área de estudo.

O valor informativo de cada unidade de terreno *j*, indispensável para a cartografia, é determinada pela seguinte equação:

$$lj = \sum_{i=1}^{n} Xji\ li \qquad \textbf{(2)}$$

Sendo:

lj= representa o valor informativo da unidade de terreno;

n= número de variáveis;

Xji= se a variável *i* está presente na unidade de terreno então o valor é 1, caso contrário o valor é 0.

Os autores desta técnica **(Yin & Yan, 1988)** referem que quanto maior for o *li* (valor informativo), maior é a instabilidade existente dentro da unidade de terreno (*j*). Segundo **Zêzere (2002)**, este método permite a previsão quantificada de suscetibilidade através de scores, mesmo quando existam unidades de terreno que ainda não tenham sido afetadas por movimentos de vertente. Este autor acrescenta ainda que cada fator de instabilidade (fatores de predisposição) é cruzado com a distribuição de movimentos de vertente, e os valores de ponderação com base nas densidades dos movimentos de vertente são calculados para cada classe de variável. A principal fragilidade apontada por este autor ao referido método está relacionada com a ausência de correlação entre as variáveis, o que desta forma pode levar a erros.

Desta forma, quando os valores do *score* são positivos significa que existe relação na unidade de terreno entre a classe da variável e a presença de instabilidade. Deste modo, quanto maior for o valor do score maior será a instabilidade. Pelo contrário, no caso de os valores do *score* serem negativos, significa que não existe relação entre a classe da variável e a presença de instabilidade, sendo a

probabilidade de ocorrência de movimentos de vertente na unidade de terreno menor.

Importa ainda salientar que quando o valor resultante de (Si/Ni)/(S/N) é igual a zero, se atribui o score mais baixo encontrado na classe da variável em questão. Segundo **Henriques (2009)**, esta necessidade resulta da impossibilidade de determinar o logaritmo natural de zero e do carácter não neutro e não nulo de VI=0, no que respeita à probabilidade de ocorrência de deslizamentos.

3.6- Aplicação do Método do Valor Informativo para determinar a suscetibilidade a movimentos de vertente na ilha de São Nicolau

Nesta fase do trabalho irá ser feita a integração da informação no modelo de suscetibilidade (valor informativo), informação essa, que já foi tratada anteriormente (§3.3.1). Muito sucintamente se descrevem todos os processos realizados em ambiente SIG com recurso ao software ArcGis, na realização de todo o modelo.

Inicialmente, e após tratamento das variáveis independentes, estas foram cruzadas com a variável dependente. A variável dependente foi convertida em ficheiro binário, em que o valor 1 corresponde à presença de movimentos de vertente, o valor 0 corresponde a ausência de movimentos de vertente. Resultando, assim, num mapa *booleano* (ausência/presença). Salienta-se o fato de a entrada no modelo ter sido feita com a área total dos movimentos de vertente e não apenas com a área de depleção.

A ferramenta utilizada em todo o processo foi o *Spatyal Analyst Tools*, e o cruzamento entre cada variável independente com a variável dependente foi feito com a extensão *tabulate area*. Posteriormente, os resultados gerados por este cruzamento foram exportados em formato *.dbf* de forma a serem trabalhos na ferramenta *excel* do Microsoft Office. No *excel* foram aplicadas as equações que permitem calcular o valor informativo. Os resultados obtidos no cálculo do valor informativo foram posteriormente importados para o ArcGis. Foi criado um novo *field* do tipo *double* em cada variável independente. Em cada um destes novos *fields* foi adicionado o valor obtido no cálculo do valor informativo de cada variável para cada classe. Para terminar este processo foram somadas todas as variáveis

independentes. Esta operação foi realizada no *Raster calculator*. O resultado desta operação é então o mapa final de suscetibilidade a movimentos de vertente. Os resultados serão apresentados e analisados no capítulos 4.

A figura 3.17, que se apresenta de seguida, esquematiza os processos descritos anteriormente. O modelo apresentado nesta figura é feito através do *Model Builder*, uma ferramenta também disponibilizada no ArcGis. Esta ferramenta permite acima de tudo agilizar e otimizar os processos inerentes ao cálculo do valor informativo. Neste exemplo, apresentam-se os processos realizados na obtenção do valor informativo apenas para 3 variáveis independentes em estudo.

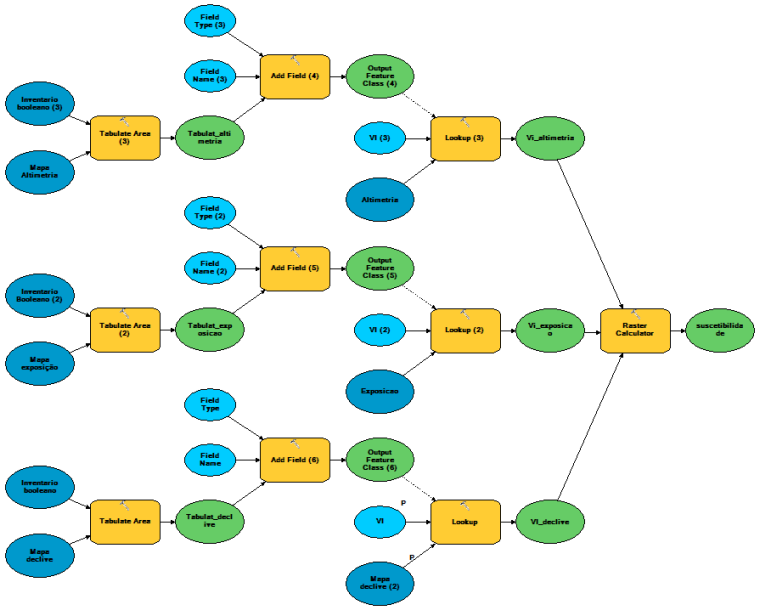

Figura 3.17- Esquematização dos processos para calcular o valor informativo, utilizando a ferramenta *Model Builder* do ArcGis

3.7- Metodologia utilizada para determinar a suscetibilidade à erosão costeira

Os métodos utilizados para a determinação da suscetibilidade à erosão costeira foram diversos. Para se determinar a suscetibilidade à ocorrência de movimentos de vertente no litoral de São Nicolau, optou-se por criar uma faixa paralela à linha de costa com largura constante onde se avaliaria esta suscetibilidade utilizando a mesma metodologia que a utilizada para as vertentes do interior da ilha e referida atrás. Esta opção bem como a largura da dita faixa serão explicados no ponto seguinte deste trabalho. A suscetibilidade à erosão das praias foi determinada por

meio de AMC com integração da informação feita com base na CLP. Os pesos dos fatores de ponderação bem como a sua justificação serão explicados mais à frente neste trabalho.

3.7.1- Suscetibilidade a movimentos de vertente na faixa costeira de São Nicolau

A avaliação da suscetibilidade a movimentos de vertente na faixa costeira da ilha de São Nicolau segue os mesmos princípios metodológicos aplicados às restantes vertentes e detalhada anteriormente.

Em ambientes comos os litorais rochosos, é possível de igual forma criar um inventário com movimentos de vertente. No entanto, esta tarefa é relativamente mais complexa. Para que se entenda de uma maneira geral o trabalho que seria necessário efetuar, este pressuponha a identificação dos limites das arribas. Estes limites seriam identificados com base em ortofotomapas e/ou fotografias aéreas, contudo, deve-se salientar o seguinte: a qualidade/resolução dos ortofotomapas e/ou fotografias aéreas é extremamente importante para a fotointerpretação na medida em que, tanto a base como a crista da arriba apresentam características morfológicas importantes, estas permitiriam a individualização (crista/base) com rigor e precisão. Em situações em que a fotointerpretação não permite identificar de forma clara os limites das arribas, efetua-se trabalho de campo de forma a corrigir possíveis erros que possam ocorrer da fotointerpretação. Esta metodologia foi testada por **Neves (2008)** e mais recentemente por **Epifânio *et al.,* (2013, 2013)**. Assim, e por requerer uma deslocação ao campo, dispendiosa e muito morosa, tornou-se incompatível com o tempo disponível para a execução deste projeto.

Deste modo, como alternativa, optou-se por criar uma faixa (*Buffer*) com largura constante, paralela à linha de costa. Ou seja, da curva de nível de cota zero metros para o interior. Os critérios utilizados na determinação da largura desta faixa assentaram em documentos correspondentes com realidade do litoral de todo o Arquipélago de Cabo Verde[2]. Na Portaria 6/2011 de 24 de Janeiro - publicada no

[2] Como referido no capítulo 1 deste trabalho, o projeto estendeu-se a todo o arquipélago, pese embora este relatório apresente apenas como caso de estudo a ilha de São Nicolau, no entanto, as

B.O. da República de Cabo Verde - que fixava “o uso dominante e outros usos compatíveis e incompatíveis das diferentes classes de espaços, para efeitos de classificação e qualificação do solo” das ilhas do arquipélago de Cabo Verde, estabelecia-se a figura “Orla Marítima” como uma faixa com largura de 80 metros. Por outro lado, as Plantas de Condicionantes que acompanham os Planos Diretores Municipais dos vários concelhos de Cabo Verde foram elaboradas considerando a Orla Marítima entre os 80 e os 120 metros de largura. Apoiado nestes documentos, utilizou-se um valor intermédio, tendo sido considerada como “Faixa Costeira”, uma banda com 100 metros de largura a partir da curva de nível da cota zero metros.

Na figura 3.19, é representado novamente o *Model Builder* com os processos realizados para obtenção do valor informativo na faixa costeira (100m). Tal como foi referido, a avaliação feita para determinar a suscetibilidade nesta faixa realizou-se seguindo a mesma metodologia utilizada nas vertentes do interior da ilha. No entanto, ao referido esquema apresentado na figura 3.17 foi acrescentado mais um processo, este relativo à extração do resultado do valor informativo das vertentes do interior da ilha para obtenção do valor informativo apenas na faixa costeira dos 100m. A ferramenta *Spatial Analyst Tools*, através da extensão *Extract by mask* permitiu extrair o resultado do valor informativo correspondente à faixa de 100m.

metodologias adotadas não foram aplicadas em particular a São Nicolau, mas sim a todo o Arquipélago de Cabo Verde.

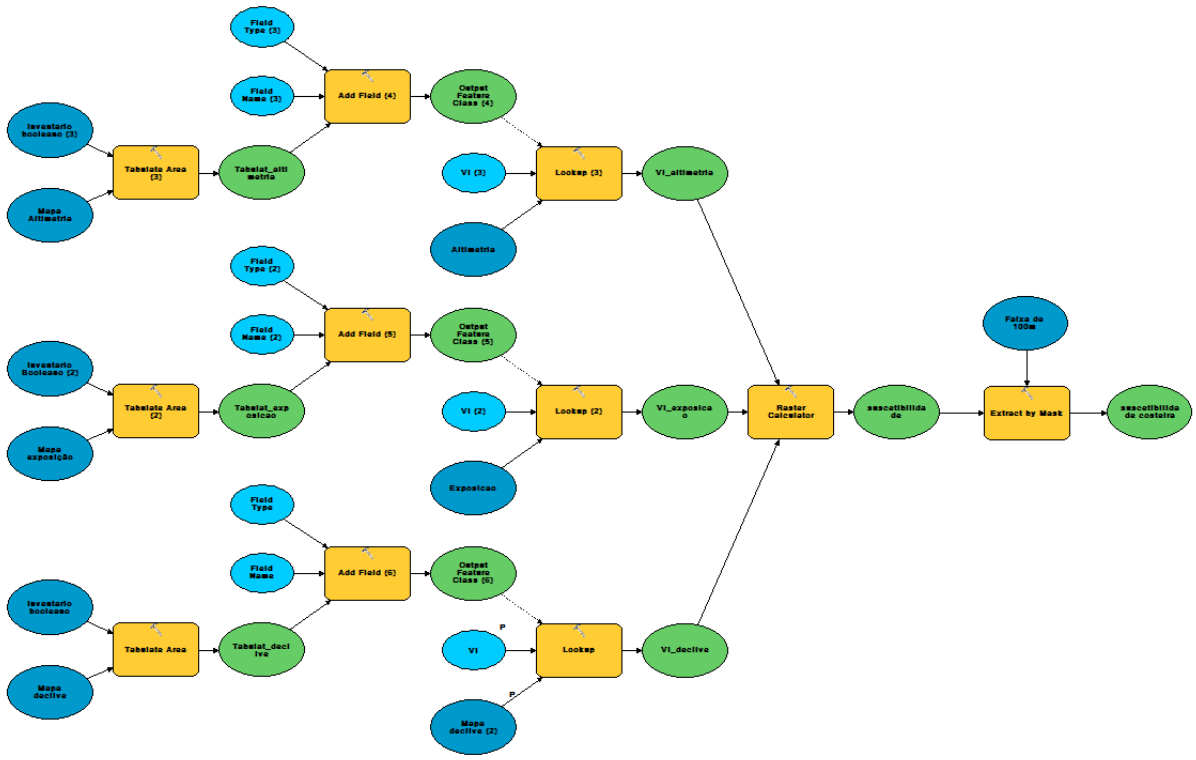

Figura 3.19- Esquematização dos processos para calcular o valor informativo na faixa costeira, utilizando a ferramenta *Model Builder* do ArcGis.

3.7.2- Determinação da suscetibilidade à erosão das praias através do método de Análise Multicritério

A Análise Multicritério (AMC) é considerada uma excelente ferramenta para tomadas de decisão. No entanto, essas decisões têm ser tomadas com base em critérios. Com base nesta premissa **Ferreira *et al.*, (2004)** entendem que é necessário conjugar, dentro de um objetivo específico, um conjunto de critérios de forma a alcançar uma base composta de suporte à decisão. Este método permite combinar os fatores de três formas diferentes: Interseção Booleana; Combinação Linear Ponderada (CLP) e Média Ponderada e Ordenada. Dos três métodos enumerados, foi escolhida a CLP para integração da informação. O método de CLP é um dos métodos mais utilizados para integrar a informação na AMC **(Eastman, 1998)**.

O resultado obtido pela CLP é dado pela seguinte equação **(Zambon *et al.,* 2005)**:

$$S = \sum_{i=1}^{n} wi \qquad \textbf{(3)}$$

Onde:

S= valor final;

w_i= peso do fator i;

n= número de fatores.

A combinação dos fatores corresponde ao grau com que um fator pode compensar o outro. O grau de compensação é definido por um conjunto de pesos atribuídos a cada fator e normalizados de forma a que o seu somatório corresponda às unidades **(Ferreira *et al.,* 2004)**. O peso atribuído a cada fator indica a importância que cada fator tem no objeto em estudo. Segundo **Ferreira *et al.,* (2004),** a importância de cada fator é dada conforme o objetivo em estudo. Desta forma, um fator de média apetência mas que tenha um peso alto pode compensar vários de peso baixo e de elevada apetência.

Algumas das características essenciais na avaliação da suscetibilidade à erosão das praias são baseadas em conhecimentos respeitante a modificações históricas da linha de costa, ao clima de agitação marítima (altura e direção das ondas; frequência e intensidade das tempestades) e às características texturais dos materiais que as constituem.

No entanto e como já foi referido no inicio do capítulo 3, a avaliação da evolução da linha de costa foi impossível de se realizar no âmbito deste estudo, pelos motivos também já referidos e que se prendem essencialmente pela falta de cobertura da totalidade da linha de costa, qualidade e inexistência de fotografias aéreas antigas, e principalmente devido à falta de pontos homólogos entre as imagens antigas e a imagem de referência que permitiria efetuar uma correta georreferenciação dessas mesmas imagens.

Assim, a metodologia para determinar a suscetibilidade à erosão das praias assentou na AMC com integração da informação geográfica através de uma CLP. Esta metodologia já foi testada por **Saaty & Vargas (2012)**. Uma metodologia semelhante foi igualmente adotada por **Santos & Miranda (2006)** para avaliar a suscetibilidade à erosão do litoral de Portugal continental devido ao impacto das alterações climáticas. **Tagliani (2003)** baseou-se no método de análise multicritério, em ambiente SIG, para a elaboração de um mapa de vulnerabilidade ambiental para a Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Segundo o mesmo autor, a análise multicritério enquadra-se neste tipo de trabalho como forma de disponibilizar uma ferramenta de apoio à decisão no âmbito do planeamento ambiental, tendo sido utilizada a CLP como método de integração da informação na AMC. Este método consiste essencialmente em multiplicar cada fator pelo peso correspondente de cada fator e, de seguida, somar todos os fatores. A CLP permite uma compensação completa entre todos os fatores em análise. Os fatores utilizados estão indicados na tabela 3.8.

Tabela 3.8- Peso atribuído aos fatores de ponderação para integração na AMC

Fatores\Variáveis	**Peso dos fatores**	**Classes**	**Ponderações das classes**	***Scores* das classes**
Exposição à ondulação	**0,2**	N	30	6
		NE	40	8
		E	20	4
		SE	2	0,4
		S	1	0,2
		SW	1	0,2
		W	1	0,2
		NW	10	2
Tipo de praias	**0,3**	Encastrada	20	6
		Litoral irregular	30	9
		Alongada e aberta	40	12
Sistemas com praias de calhaus	**0,1**	Sistema praia sector terminal de vale	10	1
		Sistema praia arriba	20	2
Sistemas com praias de areia	**0,4**	Sistema praia sector terminal de vale	20	8
		Sistemas praia-arriba e praia limitada para o interior por infraestrutura antrópica	30	12

O peso dos variáveis considerados de suscetibilidade à erosão das praias, bem como o peso definido para cada classe serão justificados de seguida. Importa salientar que os métodos utilizados para atribuição dos pesos\ponderações tanto aos fatores como às classes dos respetivos fatores, foi obtido tomando em consideração os trabalhos de **Bush *et al.* (1999)**. **Lozoya *et al.* (2011)**, **Hyman (2013)** e **Sharples *et al.* (2013)** e as características das praias de São Nicolau descritas em **Hidroprojecto (1997b)**, **Alfama (2007)**, **LOID (2009)**, **Costa *et al.* (2011)** e **Duarte (2013)**. A atribuição de pesos e ponderações por este método deve-se sobretudo à categoria das variáveis em análise, pois estas não sendo variáveis contínuas e/ou categóricas impossibilitam que se faça uma normalização das mesmas através de análises de *fuzzy* ou análises hierárquicas analíticas, uma vez que, estas variáveis foram obtidas por meios técnicos, ou seja, foram geradas por métodos manuais. Estes métodos dizem respeito á vectorização dos troços de praia utilizando a curva de nível de cota 0 metros escala 1: 10 000, tal como foi referido anteriormente (§3.4.2), respeitante à criação do inventário dos sistemas de praia.

Os pesos atribuídos aos fatores considerados no estudo da suscetibilidade à erosão das praias de S. Nicolau estão indicados na tabela 3.8 e são justificados de seguida.

Às praias de areia atribuiu-se um peso superior (0,4) devido à maior suscetibilidade das praias com esta constituição a modificações quer por processos de acreção quer por processos erosivos.

Ao tipo de praias atribui-se um peso de 0,3 porque as características morfológicas quer da praia quer da sua envolvência influenciam a energia da ondulação que atinge a praia com capacidade para a modificar.

Ao fator exposição atribui-se unicamente um peso de 0,2 considerando que, embora a ondulação seja o principal fator ativo na dinâmica de praias, os escassos dados existentes apontam para que a ondulação que atinge normalmente Cabo Verde apresenta uma altura e energia reduzidos, com baixa frequência e intensidade das tempestades.

Finalmente, aos sistemas de praia de cascalho/calhaus atribui-se um peso de 0,1 considerando que estes sistemas de praia são os menos sensíveis a situações de tempestade, apresentando uma suscetibilidade à erosão reduzida.

De seguida apresentam-se as justificações na atribuição das ponderações das classes de cada fator (Tabela 3.8):

No que respeita ao fator "Exposição à ondulação", partiu-se do princípio de que na dinâmica das praias, para além da ondulação proveniente do rumo para o qual a praia está exposta, também a ondulação proveniente dos rumos contíguos teria igualmente influência, embora menor. Deste modo, utilizaram-se os dados RRI-BCEOM, sendo o peso de cada rumo resultante de metade da soma do número de observações desse rumo com metade das observações dos rumos contíguos. (Tabela 3.9) Assim, o resultado de cada exposição varia entre 1 e 40. Sendo esta a gama de valores que iremos atribuir também às classes dos restantes fatores.

Tabela 3.9- Soma de cada orientação com as metades contíguas

N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
60,7	75,5	34,2	4,3	2,9	1,7	2,3	18,5	Soma de cada orientação com as metades das contíguas
30,3	37,7	17,1	2,2	1,4	0,9	1,1	9,3	A dividir por 2
30	**40**	**20**	**2**	**1**	**1**	**1**	**10**	Classificação final

O fator "tipo de praias" é constituído por 3 classes: (i) praia encastrada; (ii) praia de litoral irregular ou com escolhos; e (iii) praia alongada e aberta. Ao primeiro foi atribuída uma ponderação de 20 porque as praias encastradas estão enquadradas por arribas nas quais a energia da ondulação chega consideravelmente refratada. As praias de litoral irregular têm uma ponderação de 30, sendo que este tipo de praias tem o litoral pouco linear ou com escolhos que facilitam a diminuição da energia da ondulação que atinge a praia. Por fim, às praias alongadas e aberta, expostas à ondulação sem outro tipo de refração para além da provocada pelo fundo da plataforma continental próxima atribuiu-se um valor de ponderação máximo, ou seja, 40.

Os sistemas de praia, identificaram-se em sector terminal de vale beneficiam da alimentação esporádica de material transportado torrencialmente. Nestes sistemas

atribuiu-se um valor de ponderação 20 em caso se serem praias com areia e 10 em caso de serem praias com cascalho\calhaus. No sistema de praia-duna, a praia contacta para o interior com dunas permitindo que todo o sistema migre para o interior em caso de avanço do mar. Para além disso, as dunas podem funcionar como fonte de alimentação de areias das praias. Tendo isto em consideração, atribuiu-se a este sistema o valor de ponderação de 20. Por fim os sistemas de praia-arriba, são compostos por praias normalmente estreitas e limitadas para o interior por uma arriba. Este tipo de praias é muito sensível a um ou a uma sucessão de episódios de tempestade marinha. Assim, estes sistemas de praia, quando constituídos por areias têm uma ponderação máxima correspondendo a 40, e quando são constituídas por cascalho\calhaus a ponderação atribuída foi de 20.

Convém acrescentar dois aspetos importantes e que ajudam a definir os objetivos levados a cabo na realização do presente trabalho: (i) a identificação da dimensão do material que constitui as praias – areias ou calhaus - teve em consideração os documentos de base indicados atrás (§3.4.2); (ii) neste trabalho foi determinada a suscetibilidade das praias apenas a processos erosivos naturais, não se contemplando os processos erosivos antrópicos associados à extração lícita e ilícita de areia das praias levada a cabo nos últimos anos e destinada à Construção Civil **(Ferreira & Carvalho, 2003; Tavares, 2008; LOID, 2009; Lopes, 2010; Lopes & Cunha, 2012)** extração que não só altera a constituição local das praias, como constitui um processo erosivo que não pode ser avaliada neste trabalho.

De seguida será feita a descrição dos processos realizados em ambiente SIG. (Figura 3.20)

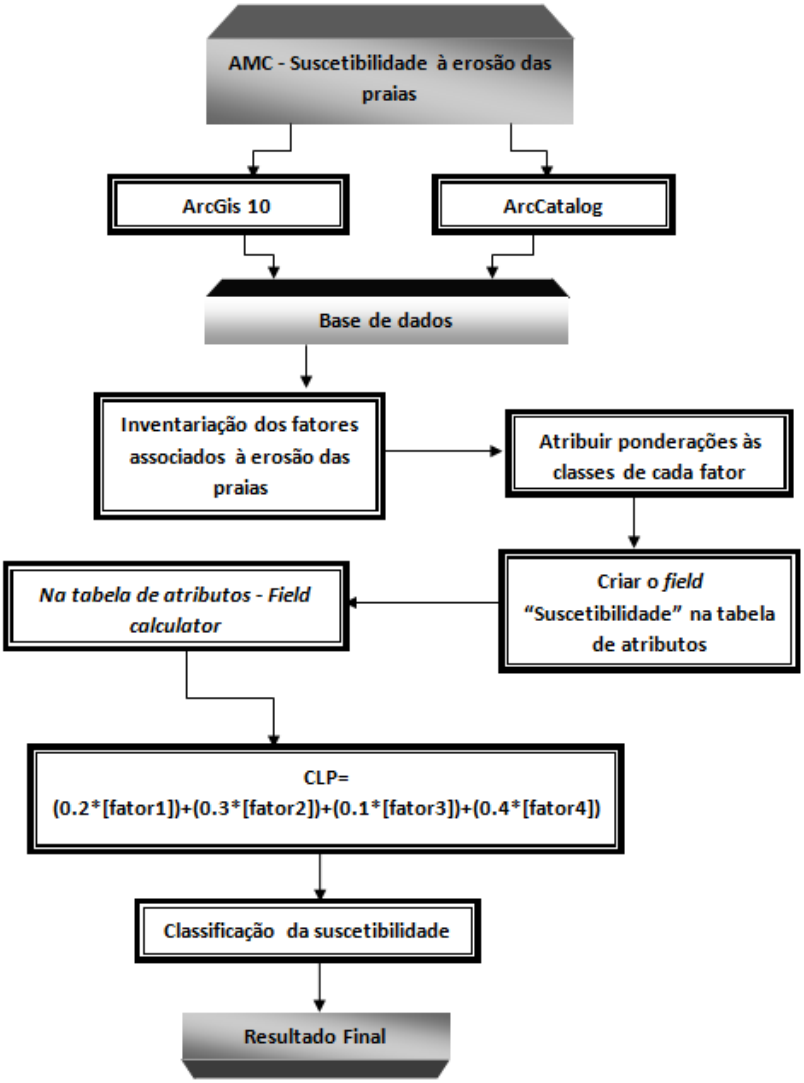
AMC - Suscetibilidade à erosão das praias
ArcGis 10
ArcCatalog
Base de dados
Inventariação dos fatores associados à erosão das praias
Atribuir ponderações às classes de cada fator
Na tabela de atributos - Field calculator
Criar o field "Suscetibilidade" na tabela de atributos
CLP= (0.2*[fator1])+(0.3*[fator2])+(0.1*[fator3])+(0.4*[fator4])
Classificação da suscetibilidade
Resultado Final

Figura 3.20- Esquema sobre os procedimentos técnicos realizados no *software* ArcGis 10.

A figura 3.20 representa todos os procedimentos realizados na AMC para obtenção do mapa de suscetibilidade à erosão das praias. O processo referente à realização da AMC foi todo ele feito em formato vetorial em detrimento do formato *raster*, uma vez que, o formato vetorial torna os processos mais rápidos e menos pesados na computação dos dados. As etapas que se apresentam de seguida descrevem todo o processo realizado, que assentou em quatro etapas: (i) criação do inventário que contém os fatores\variáveis associadas à erosão das praias; (ii) atribuição de valores de ponderação a cada classe da respetiva variável (gama de valores entre 0-40); (iii) integração da informação com base na CLP, tendo sido criado para o efeito um novo

field na tabela de atributos; (iv) de seguida, dentro deste mesmo campo recorreu-se ao *field calculator* e criou-se a seguinte expressão: **(0.2*[fator1])+(0.3*[fator2])+(0.1*[fator3])+(0.4*[fator4])**;

3.8- Representação dos resultados

Os mapas de Suscetibilidade a movimentos de vertente contêm os seguintes elementos:

- Limites administrativos das freguesias de São Nicolau;
- Distribuição de 5 classes de suscetibilidade.

Tabela 3.10- Representação gráfica dos mapas de suscetibilidade a movimentos de vertente

Representação RGB	Descrição
RGB (0,105,0)	Suscetibilidade Muito baixa
RGB (139,209,0)	Suscetibilidade baixa
RGB (255,255,0)	Suscetibilidade Moderada
RGB (255,128,0)	Suscetibilidade Elevada
RGB (255,0,0)	Suscetibilidade Muito elevada

Os mapas de suscetibilidade à erosão litoral estão divididos por tema, pois neste trabalho foram estudados dois tipos de litoral.

Os mapas de Suscetibilidade a movimentos de vertente na faixa costeira contem a mesma representação gráfica do conjunto da ilha, representando os mesmos elementos da tabela 3.10.

As classes de suscetibilidade à erosão das praias[3] foram definidas através das 72 combinações possíveis entre os fatores de suscetibilidade em análise, tendo sido posteriormente multiplicado o valor de cada classe de ponderação ao valor do peso de cada fator, que irá resultar em 3 classes, tendo a soma destas 3 classes dado origem aos limites das classes de suscetibilidade. Assim, os limites das classes de suscetibilidade Elevada, Moderada e Reduzida foram definidos, respetivamente,

[3] A tabela B3 contém a ordenação dos fatores e os cálculos efetuados e encontra-se no anexo B. (Tabela

pelos seguintes limites; min-14,5 [Reduzida]; 14,5-21,5[Moderada]; e 21,5-máx [Elevada].

Os mapas de Suscetibilidade à erosão das praias contêm os seguintes elementos:

- Limites administrativos das freguesias de São Nicolau;
- Linha de costa;

Tabela 3.11- Representação gráfica dos mapas de suscetibilidade à erosão das praias

Representação RGB	Descrição
RGB (115,223,255)	Suscetibilidade Reduzida
RGB (0,112,255)	Suscetibilidade Moderada
RGB (76,0,115)	Suscetibilidade Elevada

CAPÍTULO 4- ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

4.1- Validação dos resultados obtidos

A validação dos resultados foi efetuada através da determinação da taxa de sucesso do modelo de suscetibilidade produzido para a ilha de São Nicolau. A taxa de sucesso, segundo **Chung & Fabbri (2008)**, é um procedimento de validação cruzada, cujo objetivo é testar a validade de um modelo de predição.

De acordo com **Pereira (2009)**, a curva da taxa de sucesso baseia-se na comparação entre a imagem de predição e os movimentos de vertentes utilizados na modelação. Desta forma, esta curva mede o melhor ajustamento entre o modelo e os movimentos de vertentes registados, assumindo se o modelo é correto.

Os procedimentos realizados no cálculo da taxa de sucesso requerem os seguintes elementos: (i) o mapa final com os valores de suscetibilidade de cada unidade de terreno (pixel); (ii) a área deslizada para cada unidade de terreno: e (iii) a área que possui cada unidade de terreno. Após obter estes elementos é necessário dispor os valores de suscetibilidade de forma decrescente de modo a proceder ao cálculo das frequências acumuladas da área deslizada e da área ocupada por cada uma das classes **(Henriques, 2009)**.

Posteriormente ao cálculo da taxa de sucesso é necessário calcular as áreas abaixo da curva (AAC), que permitem quantificar a qualidade global do modelo de predição. O resultado das AAC varia entre 0 e 1 (ou 100%), correspondendo estes valores à capacidade mínima e máxima respetivamente. Assim, quanto mais próximo de 1 (ou 100%) estiver o valor da AAC, maior será a qualidade do modelo de suscetibilidade **(Pereira, 2009)**.

As classes de suscetibilidade a movimentos de vertente resultantes do Método do Valor Informativo foram definidas a partir da análise da curva de sucesso e da respetiva área validada. No âmbito deste projeto, foram definidas 5 classes de suscetibilidade, fracionadas de acordo com a área instabilizada acumulada. Desta forma, definiram-se os limites destas classes da seguinte maneira: Muito elevada - correspondente a 0,5 da área instabilizada; Elevada - correspondente a 0,7 da área

instabilizada; Moderada - correspondente a 0,9 da área instabilizada; Baixa - correspondente a 0,95 da área instabilizada; e Muito Baixa - correspondente a 1 da área instabilizada. (Figura 4)

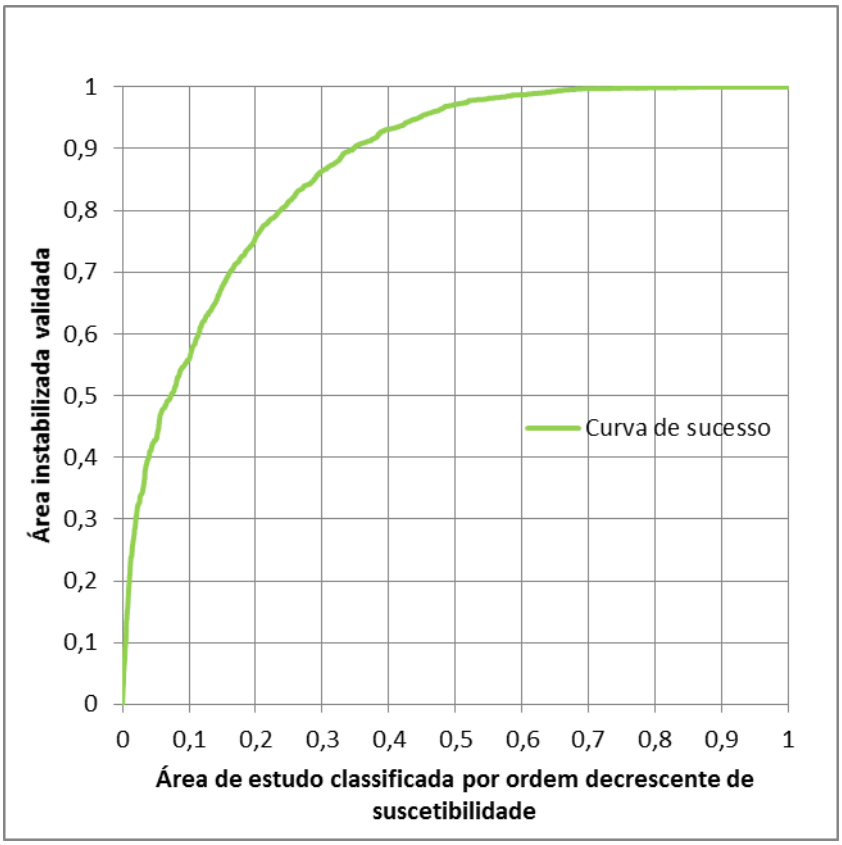

Figura 4- Curva de sucesso do modelo de suscetibilidade a movimentos de vertente na ilha de São Nicolau, Cabo Verde.

A curva de sucesso do presente modelo de suscetibilidade (figura 4) foi utilizada por dois motivos: (i) estabelecer as classes de suscetibilidade; e (ii) medir o grau de ajustamento do modelo, calculado através da AAC. O resultado da AAC de 0,87 pode considerar-se como muito satisfatório pois, como já foi referido anteriormente, quanto mais próximo de 1 for o resultado da AAC, mais consistente se torna o modelo. Assim, aos 10% da área total de estudo são explicados 95% dos movimentos de vertente ocorridos na ilha de São Nicolau, a explicação total dos movimentos de vertente ocorridos dá-se aos 55% da área total de São Nicolau. (Tabela 4)

Tabela 4- Classificação da suscetibilidade a movimentos de vertente pelas quebras da curva de sucesso

Classes de suscetibilidade	Área de estudo	Área instabilizada	*Scores* vi
Muito elevada	0.07	0.5	[5463-1590]
Elevada	0.09	0.7	[1590-821]
Moderada	0.19	0.9	[821- (-534)]
Baixa	0.10	0.95	[(-534)-(-1293)]
Muito baixa	0.55	1.00	[(-1293)-(-15726)]

4.2- Análise estatística da suscetibilidade a movimentos de vertente

As classes de suscetibilidade elevada e muito elevada ocupam cerca de 16% da superfície total da ilha de São Nicolau, o que significa que 70% dos futuros movimentos de vertente irão ocorrer nesta porção de território (16%) (Tabela 4; Figura 4.1), no entanto, as classes de suscetibilidade muito baixa e baixa representam 65% da superfície total (Figura 4.1). Das três freguesias da ilha de São Nicolau, a freguesia de Nossa Senhora da Lapa atinge os valores mais altos de suscetibilidade, onde as classes de suscetibilidade elevada e muito elevada correspondem a 27,6% da respetiva superfície total. Nesta freguesia a área abrangida pelas classes de suscetibilidade baixa e muito baixa corresponde apenas a 41,7% do total. Por sua vez nas outras duas freguesias, as mesmas classes abrangem uma área que varia entre 66% e 67% do total (Figura 4.2). Contudo, importa destacar, na freguesia de Nossa Senhora do Rosário, uma faixa com cerca de 18,5km de comprimento desde a Ponta da Coruja até à Ponta de Tope da Capa (que inclui a localidade de Morro Brás), onde a suscetibilidade a movimentos de vertente é elevada a muito elevada (Figura 4.3).

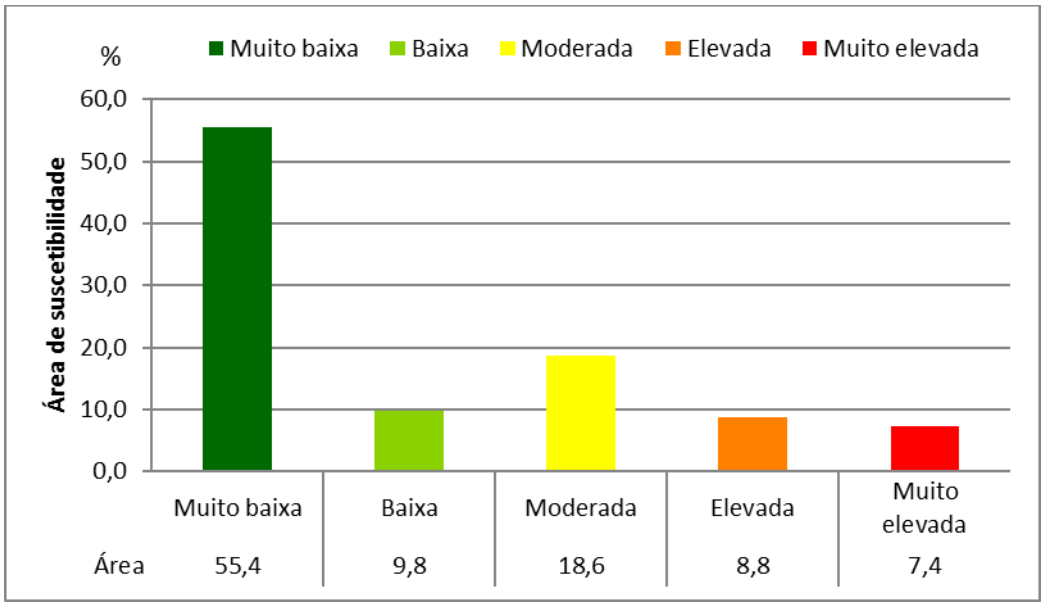

Figura 4.1- Suscetibilidade a movimentos de vertente, ilha de São Nicolau.

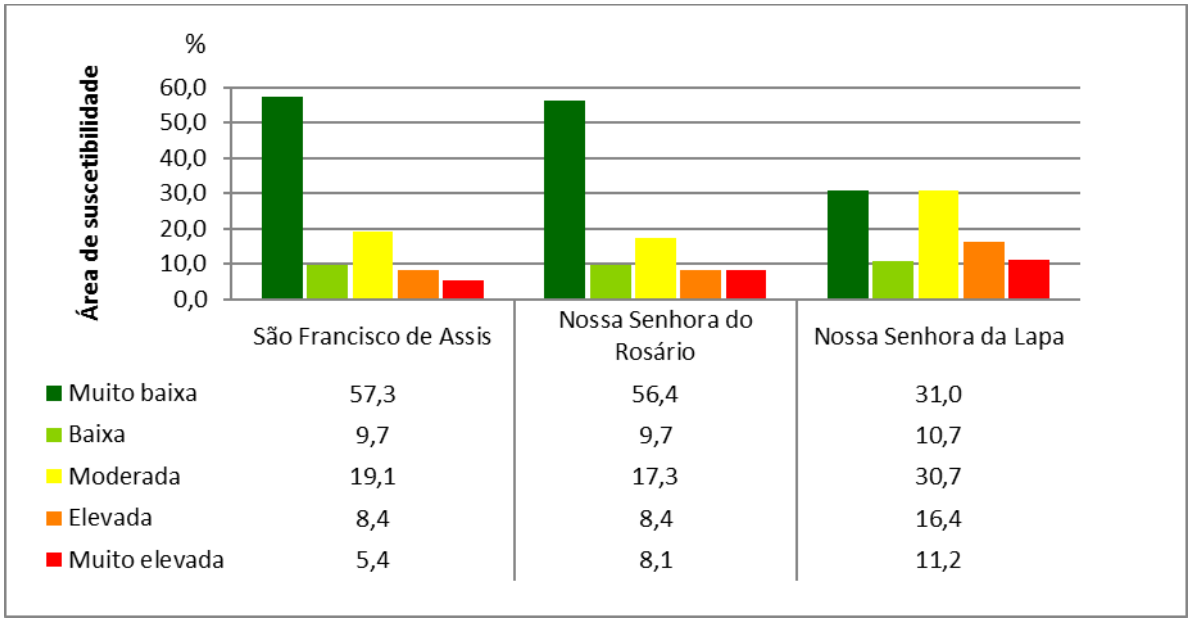

Figura 4.2- Suscetibilidade a movimentos de vertente por freguesia, ilha de São Nicolau.

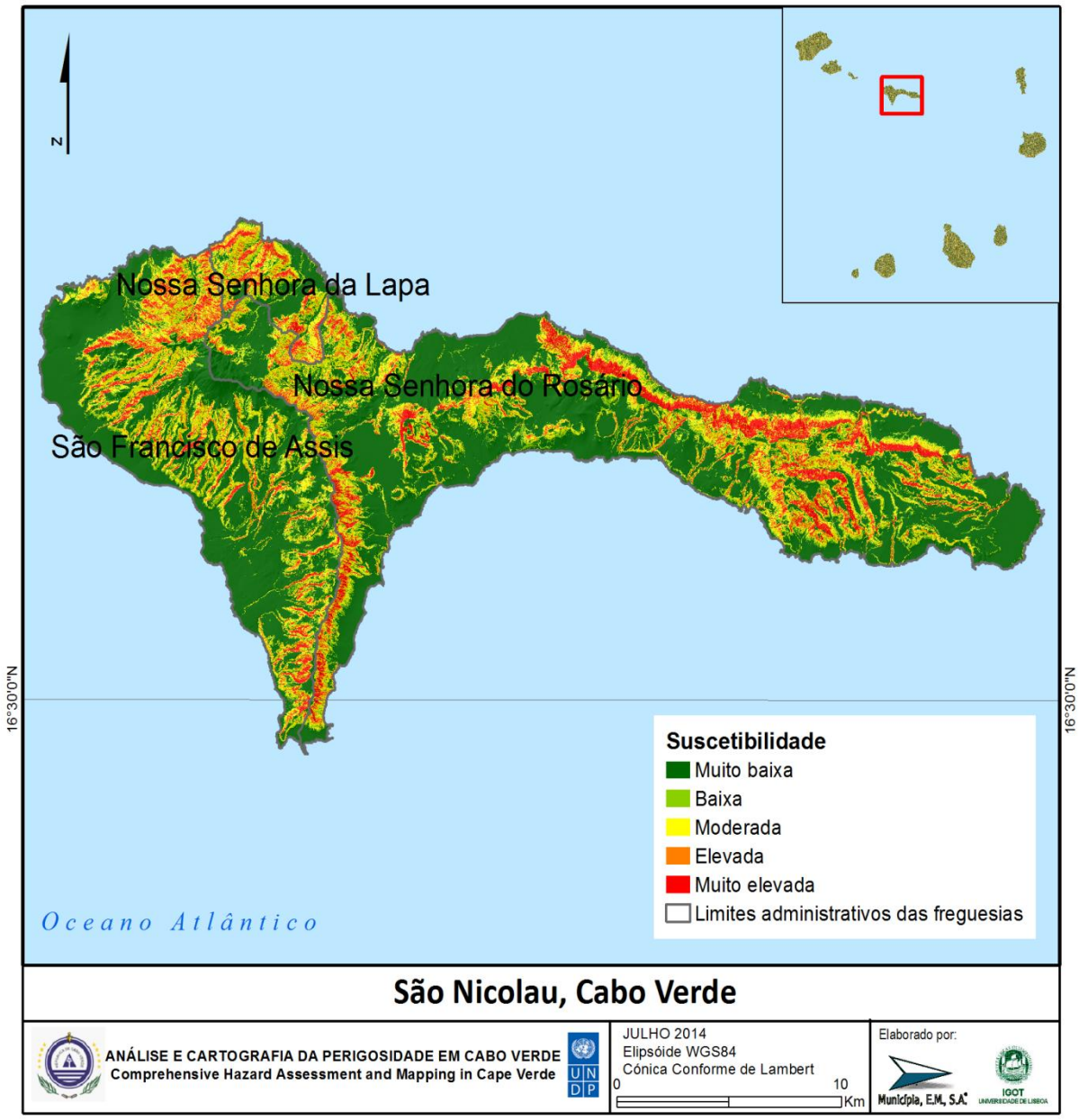

Figura 4.3- Suscetibilidade a movimentos de vertente, ilha de São Nicolau, Cabo Verde.

4.3- Análise estatística da suscetibilidade a movimentos de vertente na faixa costeira

A faixa costeira da ilha de São Nicolau compreende 78,7% de suscetibilidade a movimentos de vertente nas classes baixa e muito baixa, valor superior ao obtido para o conjunto da ilha (65% da superfície total). (Figura 4.4; Figura 4.1)

A suscetibilidade a movimentos de vertente elevada e muito elevada representam na faixa costeira da ilha apenas 9,4%, sendo que no conjunto da ilha atingem 16%. (Figura 4.4; Figura 4.1)

Das três freguesias, destaca-se a freguesia de São Francisco de Assis, atingindo no conjunto das classes de suscetibilidade muito baixa e baixa 84,5%, dado que grande parte da faixa costeira é talhada em cones de dejeção com um declive terminal junto ao mar muito suave. (Figura 4.4) Consequentemente, as classes de suscetibilidade a movimentos de vertente elevada e muito elevada juntas representam unicamente 5,5% da faixa costeira desta freguesia. Pelo contrário, a morfologia escarpada do litoral da freguesia da Nossa Senhora da Lapa condiciona, em grande medida, os resultados superiores - 19,7% - de suscetibilidade elevada e muito elevada. (Figura 4.4; Figura 4.6).

Desta análise devem-se destacar três troços litorais, um por freguesia, de relativa importância e que servirão de alerta para eventuais riscos que possam vir a ocorrer: (i) as aldeias da Ribeira Funda e Ribeira da Prata, ambas na freguesia de Nossa Senhora da Lapa, encontram-se em áreas onde a suscetibilidade é moderada a elevada; (ii) a estrada de acesso a Ribeira da Prata na freguesia de São Francisco de Assis (Ponta Pesqueiro da Cinta), que está talhada em troço de arriba classificada com suscetibilidade elevada a muito elevada que, em caso de ocorrência de movimento de vertente, pode deixar isolada esta localidade, pois esta tem a particularidade de ser a única estrada de acesso a esta localidade; (iii) de igual modo, a única estrada de acesso à localidade de Juncalinho, situada na freguesia de Nossa Senhora do Rosário, no troço entre a Ponta Larga e a Ponta do Juncalinho igualmente classificado com suscetibilidade elevada a muito elevada,

onde aliás, como comprova a figura 3.13 (capítulo 3; §3.4.1), já ocorreram movimentos de vertente que destruíram parte desta estrada.

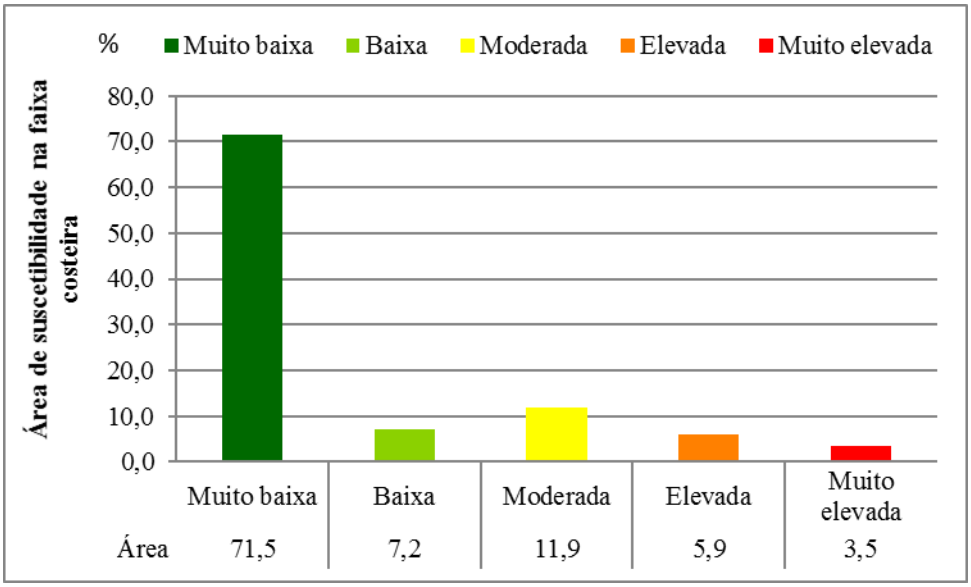

Figura 4.4- Suscetibilidade a movimentos de vertente na faixa costeira, ilha de São Nicolau.

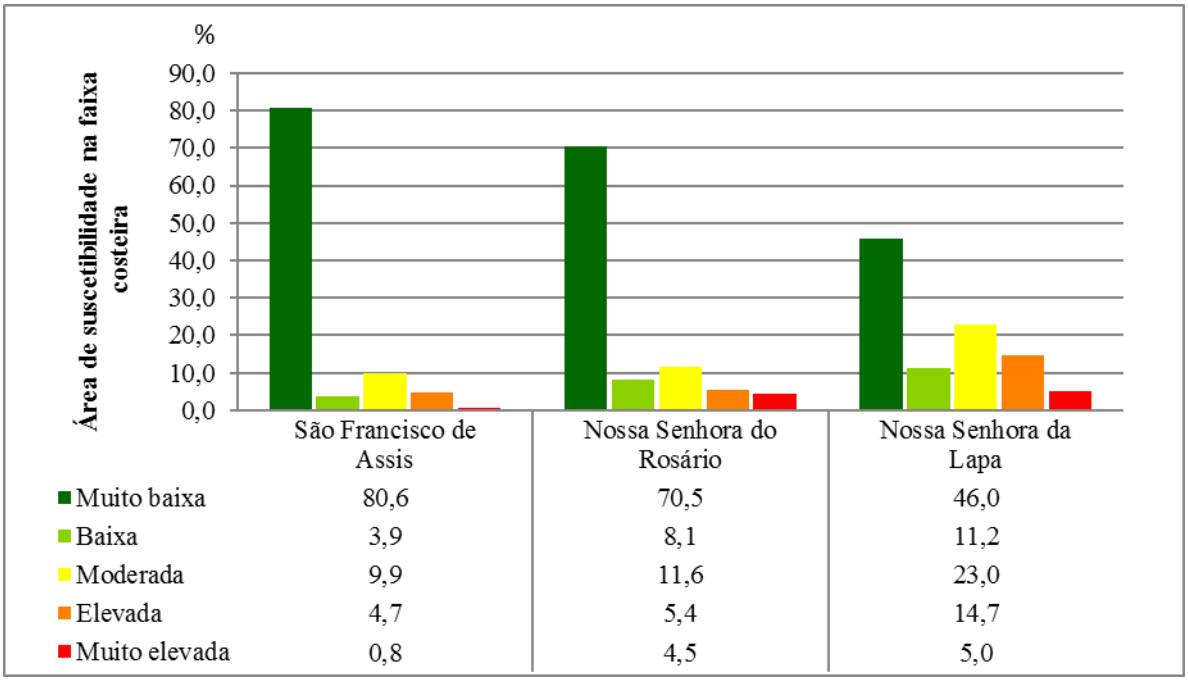

Figura 4.5- Suscetibilidade a movimentos de vertente na faixa costeira por freguesia, ilha de São Nicolau.

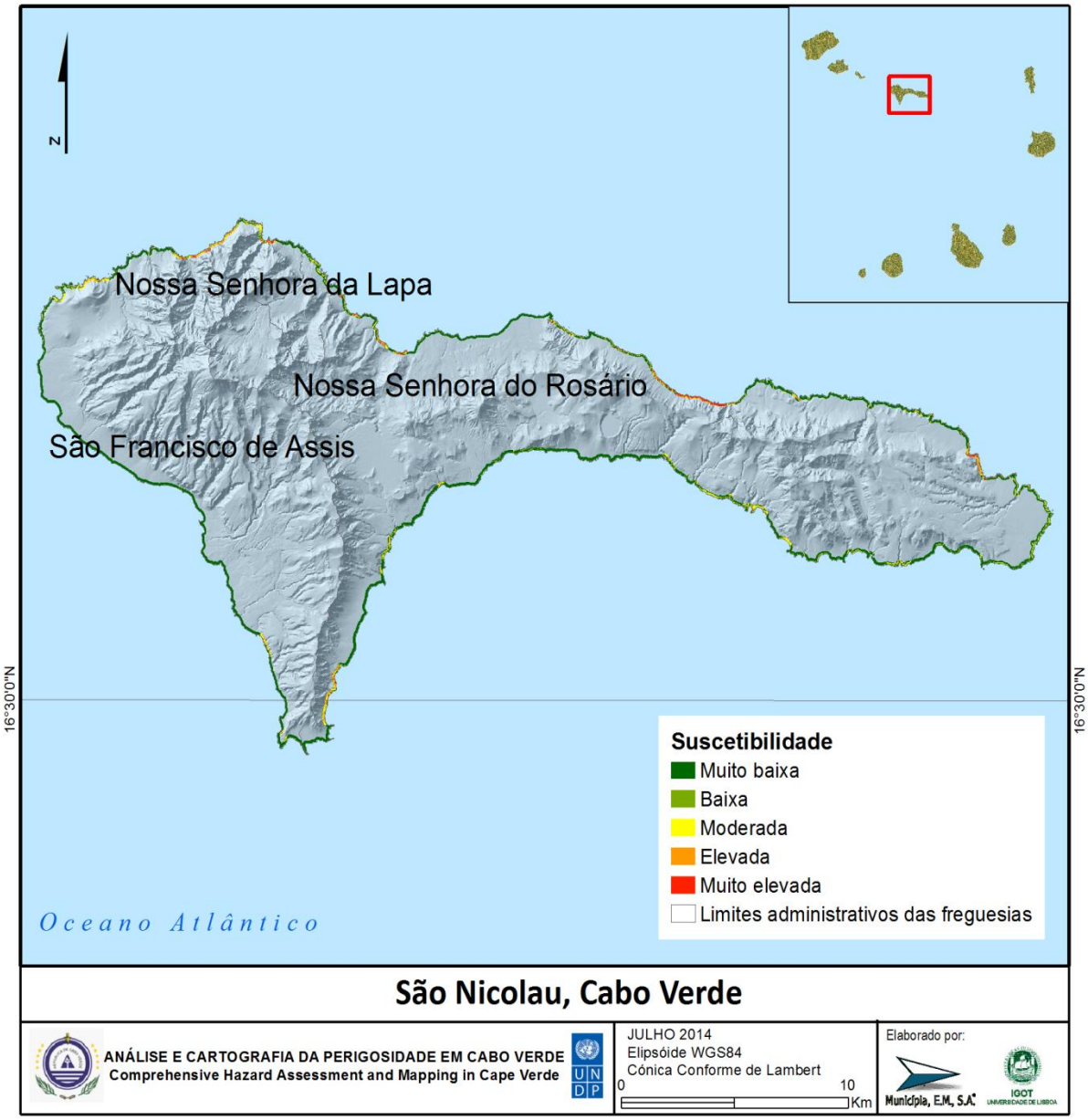

Figura 4.6- Suscetibilidade a movimentos de vertente na faixa costeira, ilha de São Nicolau, Cabo Verde.

4.4- Análise estatística da suscetibilidade à erosão das praias

Devido à sua forma alongada de sentido W-E a ilha de São Nicolau permite ser dividida em dois setores: (i) setor Leste que se estende de ESE para WNW ao longo de cerca de 30 km, com uma largura entre 3 e 7 km, que favorece o desenvolvimento de dois extensos troços litorais com exposição principal ao

quadrante Norte e ao quadrante Sul; (ii) setor Oeste, fazendo lembrar o continente africano pela sua forma, estende-se de SSE para NNW por 22 km (Figura 4.9).

O litoral da ilha de São Nicolau alonga-se por 193 km, pertencendo cerca de 125 km à freguesia de Nossa Senhora do Rosário. A freguesia de São Francisco de Assis apresenta a segunda maior extensão litoral com cerca de 52 km e por último a freguesia de Nossa Senhora da Lapa detém apenas 15 km de extensão litoral. Em termos gerais, o litoral apresenta-se pouco recortado, sendo que na costa Norte se encontram as arribas mais escarpadas.

Dos 193 km que compõem a linha de costa, somente 5,8% está ocupado por praias, representado estas uma extensão total de 11,2 km (Tabela 4.1). dos quais 8 km são praias constituídas por areia. (Tabela B2; anexo B)

Tabela 4.1- Extensão litoral por freguesia, ilha de São Nicolau.

	Freguesias de São Nicolau			
	São Francisco de Assis	**Nossa Senhora do Rosário**	**Nossa Senhora da Lapa**	**São Nicolau**
Nº de praias	20	34	8	62
Litoral de praias	4.8 Km	5.2 Km	1.2 Km	11.2 Km
Extensão litoral	52.1 Km	125.2 Km	15.2 Km	192.6 Km

As praias concentram-se maioritariamente na parte ocidental da ilha, na freguesia de São Francisco de Assis, embora a maior extensão litoral de praias se encontre na freguesia de Nossa Senhora do Rosário (5,2 km).

Os resultados obtidos na suscetibilidade à erosão das praias de São Nicolau mostram que 35,3% das praias tem uma suscetibilidade à erosão elevada. Estes resultados devem-se fundamentalmente à predominância de sistemas praia-arriba com praias estreitas (Figura 4.7).

Analisando a suscetibilidade por freguesia destaca-se Nossa Senhora do Rosário, tendo esta freguesia 56% das praias com suscetibilidade elevada à erosão (Figura 4.8). Este resultado justifica-se sobretudo pelo predomínio de sistemas de praia-arriba com praias relativamente estreitas expostas a NE. Em sentido inverso, na freguesia de Nossa Senhora da Lapa, as praias apresentam uma suscetibilidade

inferior, representando o conjunto das classes reduzida e moderada 90,4% da extensão litoral desta freguesia. Apesar destas praias se encontrarem expostas aos quadrantes donde provém a ondulação principal – N e NE -, este valor deve-se fundamentalmente a dois motivos: (i) na sua grande maioria, são praias encastradas, onde a ondulação chega com energia atenuada; e (ii) são quase todas constituídas por cascalho e/ou calhaus, logo menos suscetíveis à erosão (Figura 4.8).

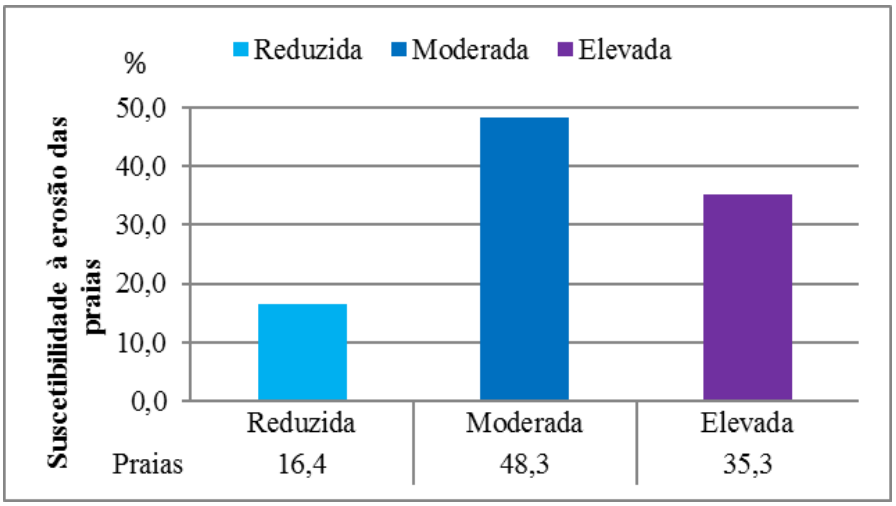

Figura 4.7- Suscetibilidade à erosão das praias, ilha de São Nicolau.

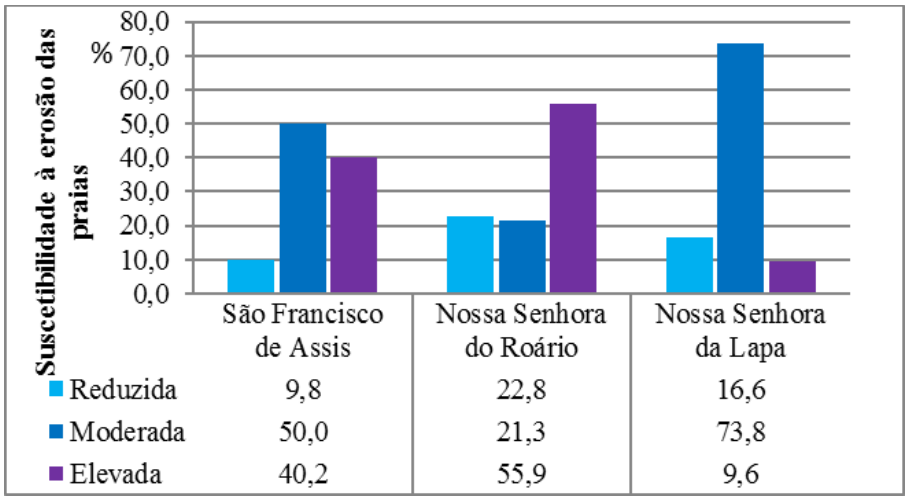

Figura 4.8- Suscetibilidade à erosão das praias por freguesia, ilha de São Nicolau.

Figura 4.9- Suscetibilidade à erosão das praias na ilha de São Nicolau, Cabo Verde.

CAPÍTULO 5- EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA NA PRAIA DO TARRAFAL, ILHA DE SANTIAGO

5.1- Cálculo da evolução da linha de costa com aplicação da extensão *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS)

Como já foi referido no capítulo 1 deste trabalho, aplicou-se na ilha de Santiago, mais concretamente na praia do Tarrafal (Concelho do Tarrafal), um método que permite calcular taxas de variação entre diferentes posições de linhas de costa históricas, recorrendo à criação de transectos equidistantes e perpendiculares a uma linha de referência (baseline). O *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) é uma extensão do software ArcGis **(Thieler *et al.,* 2009)**. Esta ferramenta tem sido utilizada por diversos autores em diferentes tipos de litoral e com resultados satisfatórios **(Hoyos, *et al*., 2006; Prukpitikul, *et al.,* 2012; Silva, 2012; Marino & Freire, 2013)**.

O DSAS permite calcular a variação das taxas de recuo e avanço da linha de costa, utilizando métodos estatísticos, baseados em diferentes posições da linha de costa ao longo do tempo. As taxas resultantes do cálculo de qualquer um dos métodos é expressa em metros por ano. De entre os 6 métodos possíveis, destacam-se dois: (i) *End Point Rate* (EPR) e o (ii) *Linear Regression Rate* (LRR).

O EPR divide a distância entre a linha mais antiga e a mais recente pelo tempo decorrido entre ambas. Vantagens: somente requer duas linhas; processamento rápido. Desvantagens: quando há informação intermédia de outras datas, esta informação é ignorada; mudanças de tendência (por exemplo de erosão para acreção), de magnitude ou cíclicas não são detetadas **(Himmelstoss, 2009)**.

O LRR é determinado pela reta de regressão linear que se ajusta melhor aos pontos dos transectos. Vantagens: toda a informação das várias datas é usada; de fácil aplicação. Desvantagens: é suscetível ao efeito de valores discrepantes; tende a subestimar as taxas de recuo ou acreção relativamente a outros métodos estatísticos, como o EPR **(Himmelstoss, 2009)**.

Os resultados finais por transepto podem ser analisados sob a forma de valor de recuo absoluto ou taxa de recuo anual. Os valores obtidos para os vários transectos podem ainda ser agrupados de modo a individualizar troços de litoral com características de dinâmica litoral comuns.

Relativamente a este local, dispôs-se dos seguintes levantamentos:

- 1961 – fotografia aérea;
- 1992 – fotografia aérea;
- 2003 – ortofotomapa;
- 2010 – ortofotomapa;

A aplicação deste método prossupôs a realização das seguintes etapas: (Figura 5)

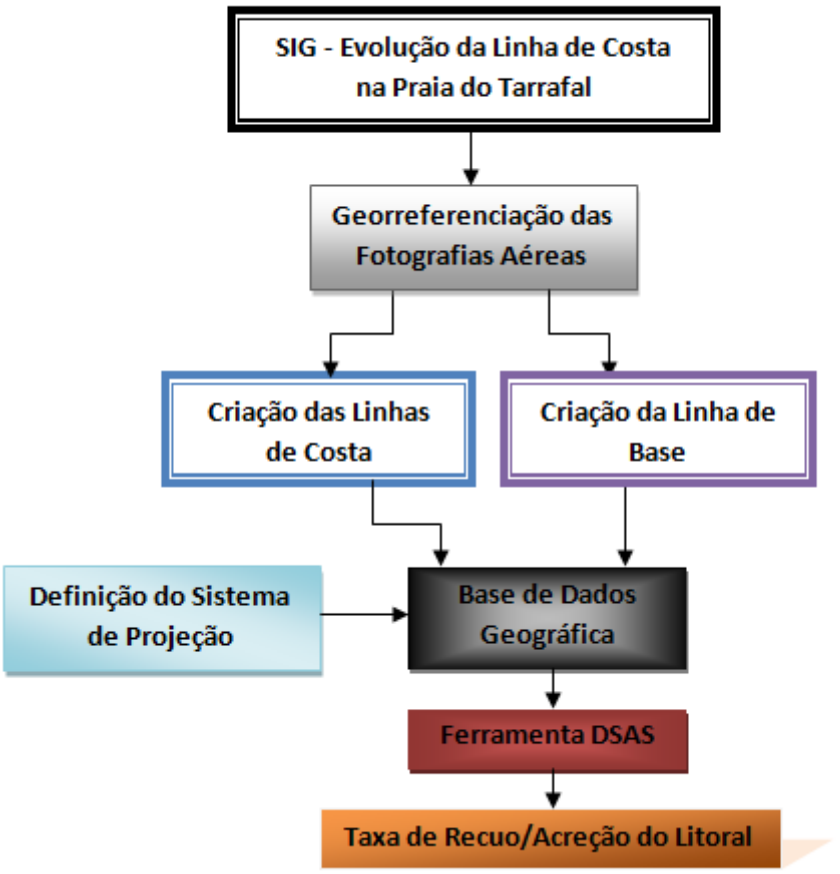
SIG - Evolução da Linha de Costa na Praia do Tarrafal
Georreferenciação das Fotografias Aéreas
Criação das Linhas de Costa
Criação da Linha de Base
Definição do Sistema de Projeção
Base de Dados Geográfica
Ferramenta DSAS
Taxa de Recuo/Acreção do Litoral

Figura 5- Esquema de processos realizados no cálculo da taxa de recuo\acreção, utilizando a extensão DSAS

Seguindo o esquema da figura 5 acima, os processos realizados até ao resultado final foram de natureza diversa. Como tal, a georreferenciação das fotografias aéreas foi a primeira etapa de todo o processo. Após esta georreferenciação, foi possível concretizar a segunda etapa, a delimitação das linhas de costa sobre as fotografias aéreas e ortofotomapas. Estas duas etapas iniciais permitiram preparar a informação de base que de seguida irá entrar no DSAS. Seguidamente serão detalhados estes processos.

5.2- Fotografias aéreas

No presente estudo, as fotografias aéreas foram adquiridas com o objetivo de calcular a taxa de recuo da linha de costa na praia do Tarrafal, ilha de Santiago.

Desde cedo que as fotografias aéreas se tornaram numa ferramenta indispensável no que respeita a estudos relacionados com dinâmica costeira, devido às potencialidades proporcionadas por este tipo de informação **(Oliveira, 2005)**.

As fotografias obtidas para este estudo dizem respeito aos anos de 1961 e 1992. O levantamento fotogramétrico para o ano de 1961, foi realizado pela Força Aérea Portuguesa, dele resultando um conjunto de fotografias pancromáticas (preto e branco) à escala de 1:30 000. O levantamento fotogramétrico de 1992 foi realizado pela entidade KLM AEROCARTO, dando origem a um conjunto de fotografias também elas pancromáticas, à escala de 1:6000 (tabela 5).

Tabela 5- Elementos referentes às fichas técnicas dos voos utilizados neste estudo. Santiago, Cabo Verde.

Ano/Mês	Escala	Distância Focal (mm)	Cores	Número das Fotografias	Entidade Executante
1961/05	1:30 000	152,57	Preto e Branco	3557	Força Aérea Portuguesa
1992/11	1:6000	213,68	Preto e Branco	2999	KLM AEROCARTO

As fotografias aéreas, aquando da sua aquisição, não estão associadas a um sistema de projeções cartográficas **(Oliveira, 2005)**. Quando comparado com a

cartografia, a fotografia aérea apresenta deformações projetivas e perspetivas, com maior incidência sobre as áreas mais periféricas da fotografia **(Matildes, 2009)**.

De forma a fazer uma utilização fiável das fotografias aéreas, como marcações ou medições sobre estas, torna-se necessário fazer a correção das fotografias de modo a que estas imagens sejam representadas segundo uma escala homogénea em toda a fotografia. Neste contexto, é necessário proceder à georreferenciação e ortoretificação das respetivas fotografias aéreas **(Epifânio, 2013)**.

O processo de georreferenciação e ortorretificação das fotografias é feito com recurso à triangulação aérea. Segundo **Oliveira (2005)** a triangulação aérea consiste num processo matemático que permite, a partir de um número de pontos fixos no terreno, a coordenação ou georreferenciação vertical e horizontal para uma fiada de fotografias aéreas. O número de pontos que o autor refere deve ser variável em função da dimensão, forma e natureza da área de estudo e do rigor pretendido, de modo a que a triangulação aérea seja ajustada. Quanto maior for o conjunto de pontos utilizado maior será o rigor a esperar da triangulação aérea.

As coordenadas associadas ao conjunto de pontos podem ser levantadas de forma direta, realizando levantamentos de pontos no campo utilizando o GPS (*Global Position System*), ou de forma indireta através de ortofotomapas ortoretificados. Ambos os métodos devem consistir na utilização de pontos homólogos que devem estar presentes em ambas as épocas em questão e serem imutáveis ao longo do tempo **(Epifânio, 2013)**.

Oliveira (2005) aponta algumas características que devem ser tidas em conta na escolha dos pontos. Estes devem ser facilmente identificáveis em todas as épocas em estudo; possuírem contornos bem definidos; e estarem distribuídos de modo uniforme pelas fotografias, especialmente nas áreas com maior interesse.

5.2.1- Georreferenciação das fotografias aéreas

A correção geométrica das fotografias permite eliminar ou minimizar as distorções geométricas, provocadas pela curvatura da terra, no caso das imagens obtidas por deteção remota, ou de distorções ocorridas durante o processo de rasterização.

O processo de georreferenciação foi realizado com recurso ao software ArcGIS 10, utilizando a ferramenta *Georeferencing*. Todo o processo foi bastante complexo essencialmente por dois motivos: i) má qualidade das imagens (resolução) e ii) alterações no uso e ocupação do solo. Utilizando a mesma metodologia seguida por **Oliveira (2005 e 2012)** e **Epifânio (2013)** selecionaram-se como pontos de controlo esquinas de muros, extremidades de telhados, casas e de propriedades, intersecções de estradas, sempre com maior incidência espacial sobre a faixa litoral, por serem as áreas com maior interesse para este estudo (Figuras, 5.1A e B; 5.2A e B).

.

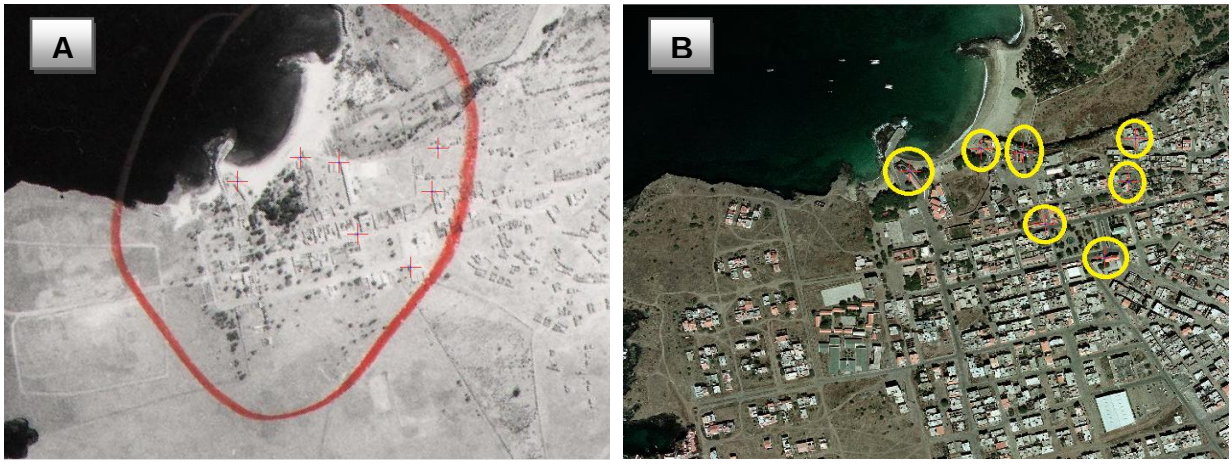

Figura 5.1- Representação dos pontos de controlo em ambas as épocas, escala de visualização 1:6 000 Método de ajustamento da imagem aos pontos (*spline*) A: Fotografia aérea de 1961, círculo vermelho, os pontos de controlo possíveis de identificar em áreas próximas à praia do Tarrafal. B: Ortofotomapa de referência (2010) representando com círculos amarelos os pontos de controlo comuns com a fotografia de 1961.

Figura 5.2- Representação dos pontos de controlo em ambas as épocas, escala de visualização 1:5 000. Método de ajustamento da imagem aos pontos (*spline*) A: Fotografia

aérea de 1992 com a representação dos pontos de controlo distribuídos pela fotografia, com especial enfoque na área junto à praia. B: Ortofotomapa de referência (2010) representando com círculos amarelos os pontos de controlo comuns com a fotografia de 1992.

A figura 5.2A respeitante à fotografia aérea de 1992, mostra uma qualidade e resolução muito superior à fotografia aérea de 1961, no entanto, importa salientar que a fotografia de 1992 foi tirada a uma escala maior (1:6 000), oferecendo mais pormenor.

O método utilizado na correção das fotografias aéreas foi determinado de forma automática através da aplicação de uma função polinomial de 1º grau. Esta função analisa o ajustamento entre cada conjunto de pontos de controlo homólogos, de acordo com o Erro Médio Quadrático (EMQ) das diferenças. O valor resultante deste cálculo referente ao conjunto de valores intervenientes é sempre positivo e indica quanto os valores variam relativamente ao valor de referência. Quanto mais próximo de zero, maior a qualidade dos valores em causa **(Epifânio, 2013)**. O método de ajustamento da imagem aos pontos de controlo utilizado foi através de uma transformação *Spline*. Este método de transformação (*Spline*) baseia-se num método de interpolação que estima valores através de uma função matemática que minimiza a curva de superfície global, resultando numa superfície suavizada que passa exatamente pelos pontos considerados **(Oliveira, 2012)**.

O processo de ortoretificação, é um método que ajuda a melhorar a imagem georreferenciada, uma vez que, em certos locais da fotografia os pontos de controlo utilizados podem não ser suficientes para corrigir a respetiva imagem, devido essencialmente à irregularidade da altimetria. Contudo, e uma vez que o objetivo da utilização desta metodologia passa por localizar diferentes posições da linha de costa, ou seja, não estão implicadas as formas de relevo a várias altitudes, optou-se assim, por não proceder à ortoretificação, pelo simples fato de que, este processo não acrescentaria mais correção na faixa da fotografia em análise.

Sucintamente, descrevem-se os processos utilizados na georreferenciação das fotografias aéreas. A georreferenciação foi ajustada com apoio em 14 pontos de controlo na fotografia aérea de 1961 e em 15 pontos na fotografia de 1992, espalhados, o mais possível, por toda a área da fotografia. As coordenadas do conjunto de pontos foram obtidas através do ortofotomapa mais recente, respeitante

ao ano de 2010. Em ambas as fotografias aéreas, o EMQ (*Root Mean Square* – RMS) foi inferior a 1 metro. As tabelas (5.1 e 5.2) resumem a descrição técnica do processo de georreferenciação das fotografias em análise.

Tabela 5.1- Dados da georreferenciação referente à fotografia aérea de 1961

DADOS DA GEORREFERENCIAÇÃO			
FOTOGRAFIA AÉREA DE 1961			
ESCALA: 1:30.000			
SOFTWARE UTILIZADO – ArcGis 10.0			
SISTEMAS DE COORDENADAS			
Sistema de Coordenadas	**Projeção Cartográfica**		**Datum**
Cabo_Verde_Conica_Secante _de_Lambert	Cónica Secante de Lambert		WGS_1984
PONTOS DE CONTROLE			
Nº de Pontos de controlo	**RMS máx. admissível 1:30.000**	**RMS ATINGIDO**	**TRANSFORMAÇÃO**
14	6 m	0.95603 m	Polinómio de 1ª Ordem

Nota: O erro de graficismo admissível é de 0.2mm, consoante a escala da fotografia. (Fonte:IgeoE)

Tabela 5.2- Dados da georreferenciação referente à fotografia aérea de 1992

DADOS DA GEORREFERENCIAÇÃO			
FOTOGRAFIA AÉREA DE 1992			
ESCALA: 1:6.000			
SOFTWARE UTILIZADO – ArcGis 10.0			
SISTEMAS DE COORDENADAS			
Sistema de Coordenadas	**Projeção Cartográfica**		**Datum**
Cabo_Verde_Conica_Secante _de_Lambert	Cónica Secante de Lambert		WGS_1984
PONTOS DE CONTROLE			
Nº de Pontos de controlo	**RMS máx. admissível 1:6.000**	**RMS ATINGIDO**	**TRANSFORMAÇÃO**
15	1,2 m	0.92608 m	Polinómio de 1ª Ordem

Nota: O erro de graficismo admissível é de 0.2mm, consoante a escala da fotografia. (Fonte:IgeoE)

5.3- Delimitação da linha de costa na praia do Tarrafal

Seguidamente irá ser feita a delimitação das linhas de costa nas fotografias aéreas georreferenciadas bem como nos ortofotomapas de 2003 e 2010.

De acordo com **Marino & Freire (2013),** do ponto de vista físico a linha de costa corresponde à interface entre terra e água. Segundo os autores citados, a linha de costa deve ser entendida como um limite móvel, uma vez que, a sua posição espacial é variável a todas as escalas temporais.

A subida e descida das águas do mar por influência das marés, define a linha de fronteira entre as áreas emersas e submersas numa praia. No entanto, esta linha varia ao longo do dia devido à subida e descida da maré,. o que pode causar alguns problemas quando se pretende delimitar a linha de costa.

De modo a contornar este problema, seguiram-se as opções já utilizadas por diversos autores entre os quais **Anders & Byrnes (1991)**, **Crowell *et al.,* (1991)**, **Boak & Turner (2005) Ruggerio *et al*., (2013)**. Estes autores sugerem que, em casos de estudo como o que aqui se apresenta (alterações de posição da linha de costa), deve ser utilizado a linha de preia-mar (High Water Line - HWL). assumida como representativa da extensão máxima para o interior da última maré alta. Esta linha é identificável pela tonalidade contrastada entre o setor de praia entre marés mais húmido e escuro e o setor da praia supramareal seco e mais claro e torna-se num excelente indicador para delimitar a linha de costa, bem como, um excelente elemento comparativo entre linhas de costa de anos diferentes. Na figura 5.3, assinalado com setas vermelhas está a linha de preia-mar, linha essa facilmente identificável pelo contraste de tonalidade na imagem.

Figura 5.3- Faixa litoral com praia onde se encontra identificada a linha de preia-mar (assinalada pelo tracejado vermelho). Fonte: Marino & Freire, 2013.

Como já foi referido anteriormente (capítulo 2, §2.1d) a amplitude de marés em Cabo Verde é reduzida, as marés são semi-diurnas, e a sua amplitude máxima não excede normalmente 1,5m, classificando-se esta amplitude, segundo **Davies (1964)** como microtidal.

Deste modo, e após a georreferenciação das imagens de 1961 e 1992, procedeu-se à delimitação da linha de costa, tanto nas imagens de (1961 e 1992) como também nos ortofotomapas de (2003 e 2010). O processo de vetorização foi realizado com recurso à ferramenta Editor do ArcGis 10. De seguida apresentam-se as linhas de costa por cada ano em análise (Figuras 5.4 e Figuras A2; A3 e A4 no anexo A).

Figura 5.4- Fotografia aérea da praia do Tarrafal – Santiago (Cabo Verde) em 2010 com as linhas de costa de 1961, 1992, 2003 e 2010.

5.4- Aplicação do Digital Shoreline Analysis System (DSAS)

Com recurso a fotografias aéreas georreferenciadas e ortoretificadas para um mesmo local é possível calcular e comparar para diferentes anos, as modificações ocorridas na linha de costa. Desta forma, os SIG permitem integrar e analisar dados diversos possibilitando assim o estudo da evolução da linha de costa.

A extensão do DSAS do ArcGis, exige alguns requisitos que são importantes para o seu normal funcionamento. Desde logo, são necessários alguns requisitos de sistema: (i) ArcGis Desktop 10 (esta extensão não é compatível com versões anteriores do ArcGis); (ii) Microsoft .NET Framework 3.5; (iii) MATLAB component runtime library utility.

De seguida exigem-se os seguintes requisitos na construção da base de dados: (i) a *personal geodatabase* criada no ArcGis 9.3 pode ser utilizada numa versão mais

recente do ArcGis; no entanto, uma vez que o DSAS só é compatível com a versão 10 (mínimo) do ArcGis, torna-se necessário fazer um *update* da *geodatabase* para a versão mais atual; é um processo simples de realizar, bastando para isso, abrir o *ArcCatalog* e na respetiva *geodatabase* ir às propriedades e clicar em upgrade geodatabase (figura A5 em anexo A); (ii) uma vez criada e atualizada para a versão 10 do ArcGis, a *feature dataset* a criar na *geodatabase* deverá ter um sistema de projeções UTM; por sua vez, as *features class* que a irão compor devem ter a unidade de medida definida em metros.

A referência a estes requisitos é fundamental pois, sem eles, a extensão DSAS não funciona. Desta forma, aconselha-se que os restantes requisitos, nomeadamente a criação da *feature* "*Shoreline*" e "*Baseline*" e a importação destes temas para a *geodatabase* sejam consultados no guia do usuário disponibilizado pela USGS[4] .

Após concluídas estas etapas iniciais, fundamentais para o arranque desta extensão, procedeu-se à integração da informação respeitante às linhas de costa "*Shorelines*" na extensão DSAS. A *baseline*, linha de base de onde são lançados os transectos que irão cruzar as linhas de costa, pode ser criada de duas formas: (i) criar uma linha paralela à linha de costa mais antiga; ou (ii) utilizar a linha de costa mais antiga como linha de base. Se a opção recair pela segunda forma, esta é realizada com um simples processo, que consiste em, exportar (*export data*) a linha de costa mais antiga atribuindo a esta o nome "*baseline*" e de seguida criar os campos necessários conforme vem referido no manual do utilizador. No presente trabalho, a "*baseline*" corresponde à linha de costa mais antiga (*Shoreline*) (Figura 5.5).

[4] Disponível em http://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/dsas/version4/index.html

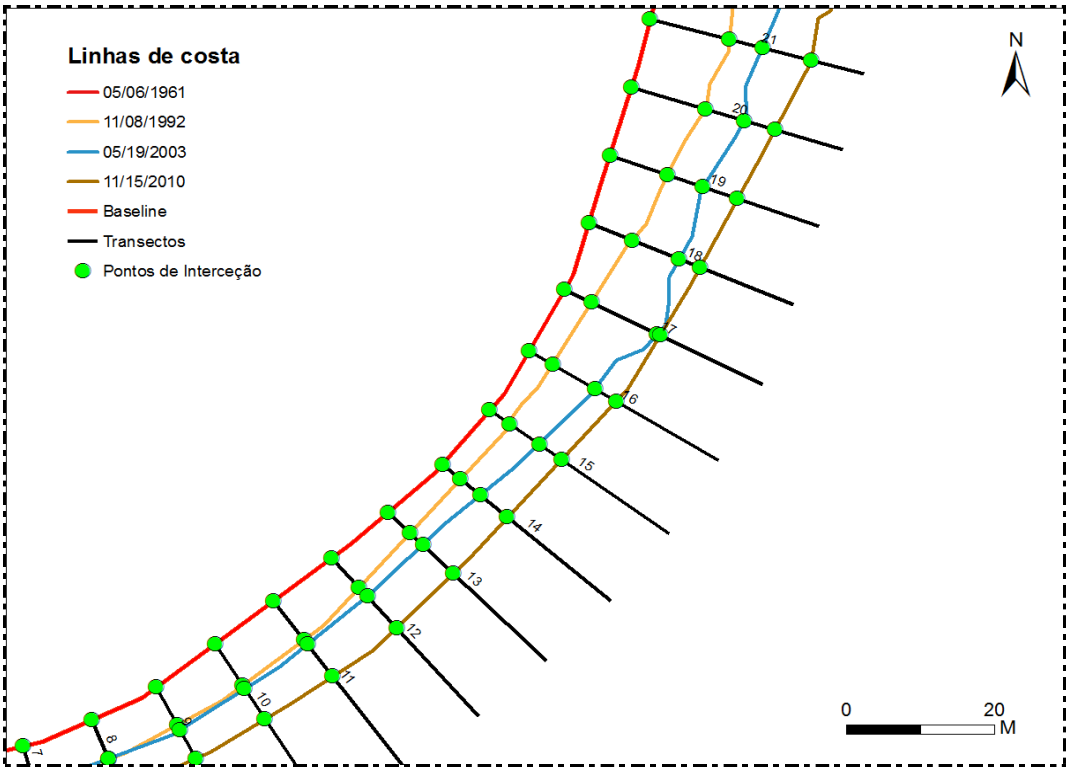

Figura 5.5- Representação do *output* após entrada dos dados no DSAS

A figura 5.5 acima representa as 4 linhas de costa em análise (1961, 1992, 2003 e 2010), a linha de base, os transectos lançados através da linha de base e os pontos de interseção originados automaticamente no DSAS. Os pontos de interseção (a verde) começam logo na primeira linha, o que significa que a linha de base assume logo a primeira interseção na linha que se lhe sobrepõe, ou seja, a linha de costa mais antiga (1961). Salienta-se por isso que a *baseline* a utilizar no DSAS pode ser perfeitamente a linha de costa mais antiga.

Importa ainda referir, que aquando da criação da *feature class* que incluirá as 4 linhas de costa em estudo é necessário, entre outros, um campo com a data em que foram obtidas as fotografias aéreas, pois é este campo que irá entrar num dos parâmetros do DSAS.

Na aplicação do DSAS, e dada a pequena extensão da área estudada, optou-se por estabelecer transectos com equidistância entre si de 10 metros e com um comprimento de 30 m (o comprimento a determinar para os transectos deve ser medido na faixa mais larga da praia, desde a linha de costa mais antiga até à mais recente), tendo sido criados para a praia do Tarrafal 29 transectos. Os parâmetros

de entrada no DSAS, realizados no âmbito deste trabalho são representados através das figuras A6; A7 e A8 (Anexo A). As taxas de variação foram calculadas utilizando o método estatístico *Linear Regression Rate* (LRR).

5.5- Análise estatística dos resultados

Analisando globalmente os resultados, a praia do Tarrafal apresenta um recuo geral, sendo que a taxa de recuo média corresponde a 0,29m/ano no período de 49 anos (1961-2010). Nos três períodos considerados para o estudo da evolução da linha de costa na praia do Tarrafal verificou-se uma tendência crescente na taxa de recuo. (Tabela 5.3)

Tabela 5.3- Taxas de recuo da praia do Tarrafal entre 1961-2010

Período	Taxa de recuo (m/ano)
1961-1992	0,25
1992-2003	0,26
2003-2010	0,39
1961-2010	**0,29**

Os gráficos que se irão apresentar seguidamente, possibilitam a avaliação do comportamento dos 29 transectos nos períodos considerados. Estes transectos, como já foi referido anteriormente, foram gerados a partir da ferramenta DSAS (Figura 5.6). A distribuição destes transectos ao longo da praia com um espaçamento de 10m entre si permitiu calcular todas as pequenas variações encontradas neste reduzido troço de praia. Desta forma, os resultados obtidos tornam-se mais precisos e coerentes com a realidade, pese embora o valor associado ao erro de georreferenciação poderá influenciar para mais ou para menos estes mesmos resultados. Os gráficos que se apresentam de seguida dizem respeito a cada período de análise.

De modo a facilitar a interpretação dos resultados, decidiu-se dividir os 29 transectos por setores de praia. A divisão foi feita do seguinte modo: setor Sul (transecto 1 a 10); setor Centro (transecto 11 a 19); setor Norte (transecto 20 a 29).

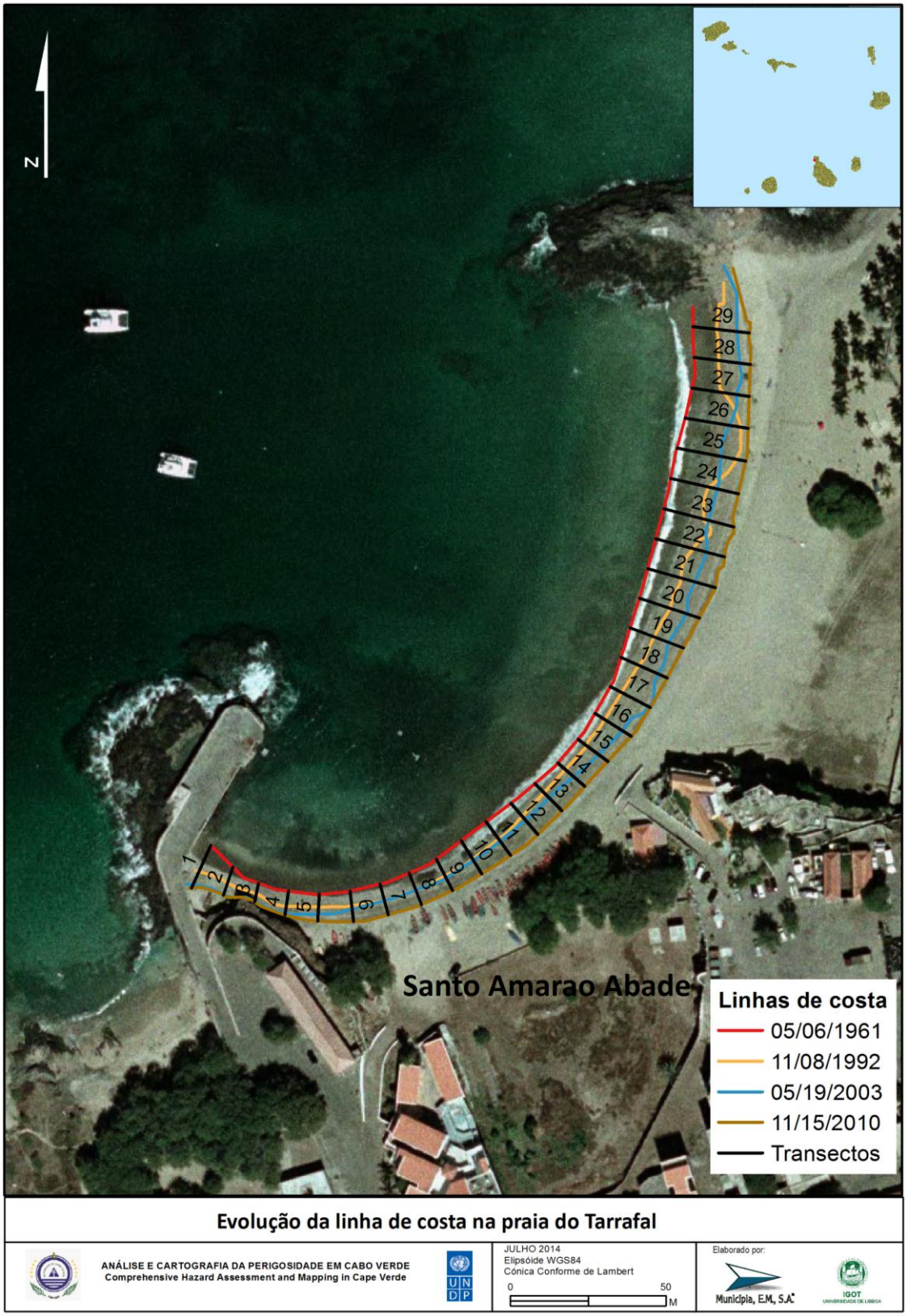

Figura 5.6- Praia do Tarrafal em 2010 com as linhas de costa de 1961, 1992, 2003 e 2010 e os 29 transectos criados pelo DSAS. Ilha de Santiago, Cabo Verde.

5.5.1- Análise da evolução da linha de costa entre 1961-1992

Na praia do Tarrafal, a comparação entre as linhas de costa de 1961 e 1992 apresentou um recuo médio de 7,63m (Tabela 5.4) e (Figura 5.7), que correspondeu a uma taxa de recuo médio de 0,25m/ano (Figura 5.8)

Observando a tabela 5.4 respeitante ao período (1961-1992) dividida pelos setores atrás referidos, verifica-se que o setor centro é o que apresenta a taxa de recuo média anual mais baixa (0,16m/ano) em oposição com o setor norte, que apresenta neste período a maior taxa de recuo médio da linha de costa (0,40m/ano). Destacam-se sobretudo neste setor os transectos 25 e 26, que apresentam um recuo médio anual de 0,63m/ano e 0,58m/ano respetivamente (Figura 5.7 e 5.8).

Tabela 5.4- Evolução da linha de costa entre 1961-1992 na praia do Tarrafal, ilha de Santiago.

Setores da Praia do Tarrafal	Taxa de recuo médio anual (m)	Total de recuo médio entre 1961-1992 (m)
Setor Sul	0.18	5.61
Setor Centro	0.16	4.93
Setor Norte	0.40	12.35
Total	0.25	7.63

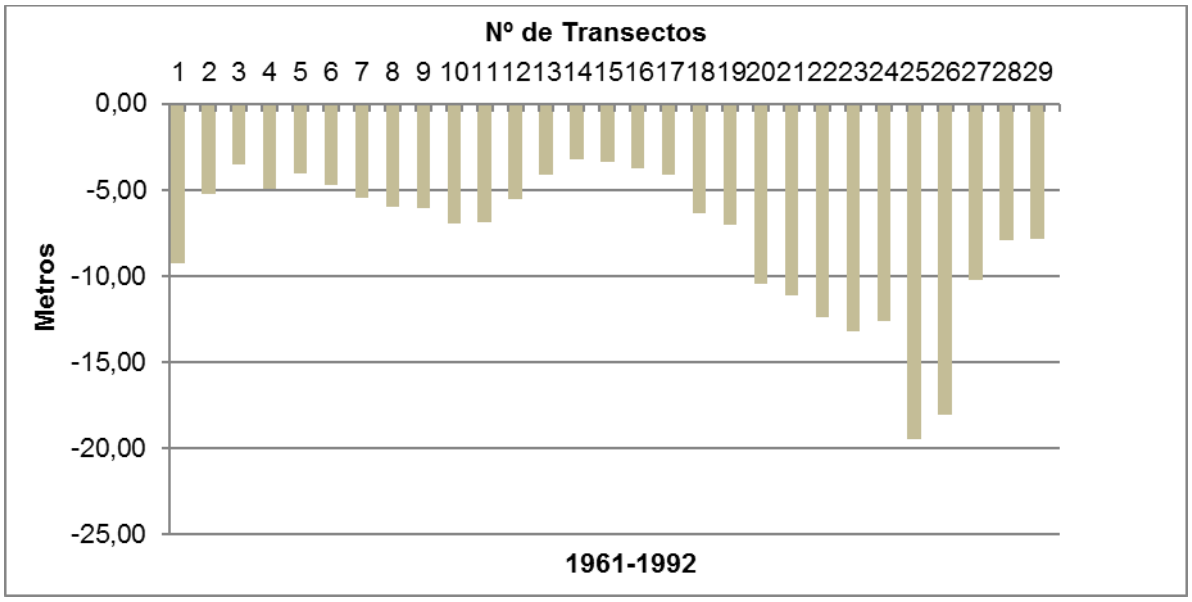

Figura 5.7- Total de recuo da linha de costa por transecto na praia do Tarrafal, ilha de Santiago.

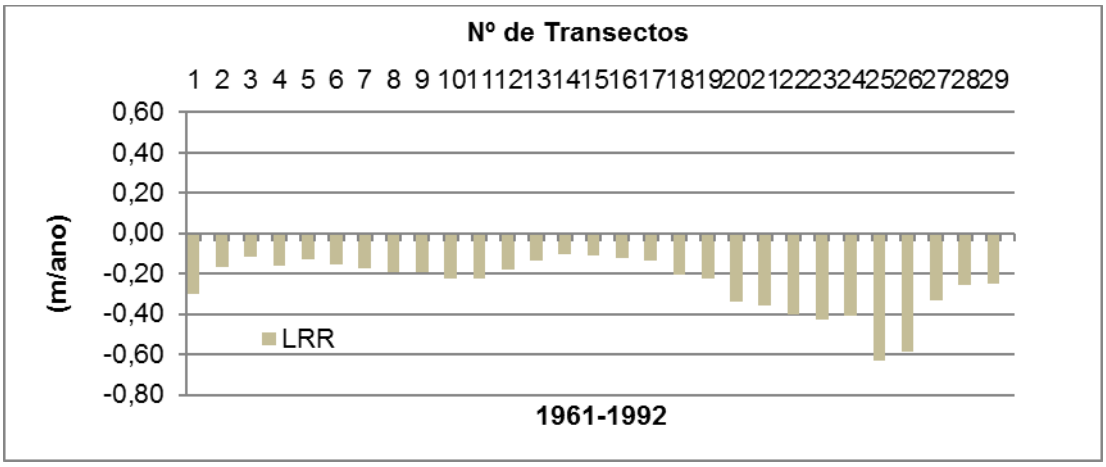

Figura 5.8- Taxa de recuo (valores negativos=recuo) da linha de costa na praia do Tarrafal, ilha de Santiago.

5.5.2- Análise da evolução da linha de costa entre 1992-2003

O período entre 1992-2003, sensivelmente mais curto que o primeiro, segue a mesma tendência verificada no período analisado anteriormente. Neste período a linha de costa na praia do Tarrafal teve um recuo médio total de 2,93m (Tabela 5.5). A taxa de variação anual da linha de costa teve entre 1992-2003 um recuo médio de 0,27m/ano (Figura 5.10). Observando a tabela 5.5 respeitante ao período (1992-2003), verifica-se que o setor centro é o que apresenta a taxa de recuo média anual mais alta (0,42m/ano) contrastando com o mesmo setor referente ao período analisado anteriormente (1961-1992), tendo neste período a taxa de recuo média anual mais baixa (0,16m/ano). Por sua vez, o setor norte apresenta neste período uma redução em termos de recuo comparando com o período analisado anteriormente, destacando-se os transectos 25 e 26 que, neste período, contrastam com os mesmos transectos do período anterior, quando registam uma acreção da linha de costa de 0,46m/ano e 0,33m/ano respetivamente (Figura 5.9 e 5.10). Por sua vez, o setor sul apresenta uma taxa de recuo média relativamente mais baixa (0,12/ano), sobretudo porque inclui três transectos onde se verificam acreções, transectos 7, 8 e, principalmente, no transecto 3.

Tabela 5.5- Evolução da linha de costa entre 1992-2003 na praia do Tarrafal, ilha de Santiago.

Setores da Praia do Tarrafal	Taxa de recuo médio anual (m)	Total de recuo médio entre 1992-2003 (m)
Setor Sul	0.12	1.30
Setor Centro	0.42	4.66
Setor Norte	0.26	2.83
Total	0.27	2.93

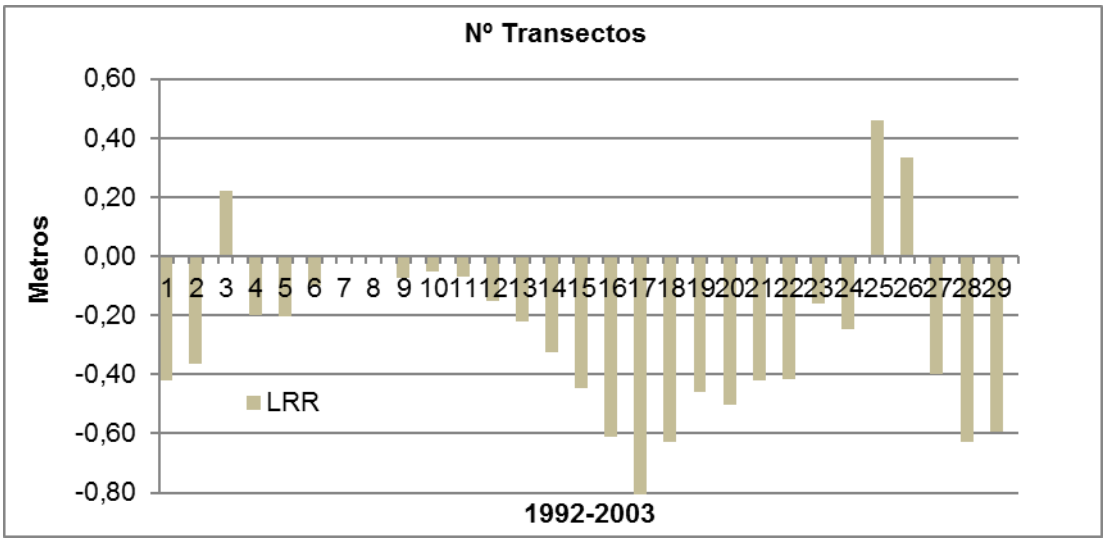

Figura 5.9- Total de recuo/acreção da linha de costa por transecto na praia do Tarrafal, ilha de Santiago.

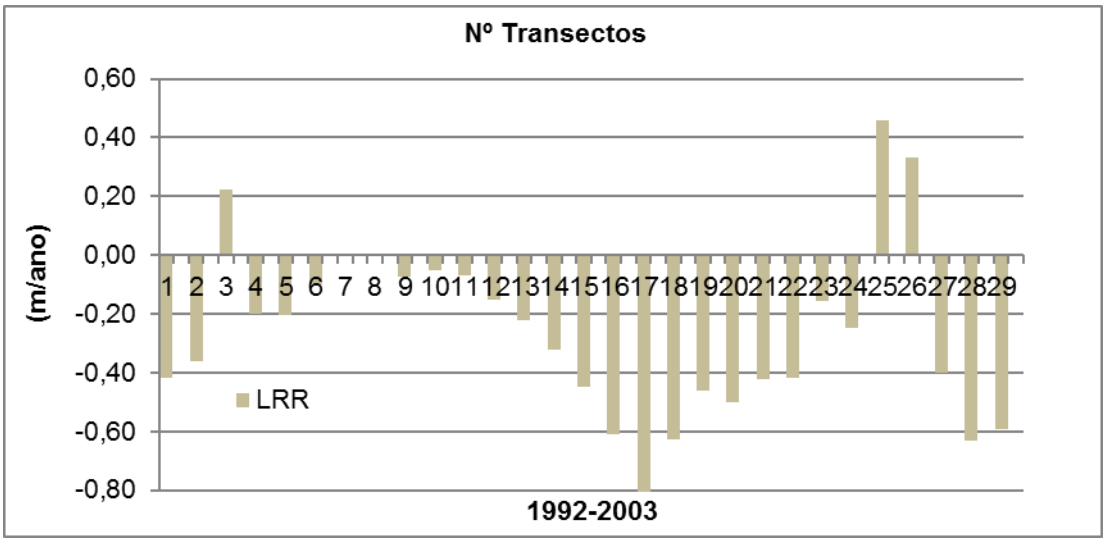

Figura 5.10- Taxa de variação da posição da linha de costa (valores negativos=recuo; valores positivos=acreção) na praia do Tarrafal, ilha de Santiago.

5.5.3- Análise da evolução da linha de costa entre 2003-2010

O período de análise (2003-2010) apresenta uma tendência de recuo médio ainda mais acentuado que as anteriores, pois neste período a linha de costa teve um recuo médio total de 2,71m (Tabela 5.6) correspondendo a uma taxa de recuo média anual de 0,39m/ano (Figura 5.12).

Com base na tabela 5.6, respeitante ao período (2003-2010), verifica-se que o setor norte é o que apresenta a taxa de recuo média anual mais alta (0,53m/ano) contrastando com o mesmo setor referente ao período analisado anteriormente (1992-2003), aumentando neste setor, a taxa de recuo média em cerca de 0,04m/ano em 7 anos. No período agora em análise, este setor teve um recuo total médio de 3,69m. O setor sul, por sua vez, apresenta a mesma tendência, ou seja, em comparação com o período analisado anteriormente, verificou-se neste setor um aumento da taxa de recuo médio de 0,12m/ano para 0,25m/ano. Este aumento deve-se sobretudo ao fato de no período (1992-2003) o setor sul ter apresentado transectos em que ocorreu acreção. No entanto, o recuo neste período não é tão relevante. Em oposição à tendência verificada nestes dois setores, o setor centro apresenta uma redução no seu recuo médio anual quando comparado com o período anterior (1992-2003), no presente período a taxa de recuo médio anual baixou para 0,38m/ano. Para explicar esta diferença entre estes períodos destaca-se sobretudo o transecto 17,que teve um recuo total, no período anterior, de 9,93m e, neste período (2003-2010), teve um recuo total de apenas 0,04m (Figura 5.11 e 5.12).

Tabela 5.6- Evolução da linha de costa entre 2003-2010 na praia do Tarrafal, ilha de Santiago.

Setores da Praia do Tarrafal	Taxa de recuo médio anual (m)	Total de recuo médio entre 2003-2010 (m)
Setor Sul	0.25	1.77
Setor Centro	0.38	2.67
Setor Norte	0.53	3.69
Total	0.39	2.71

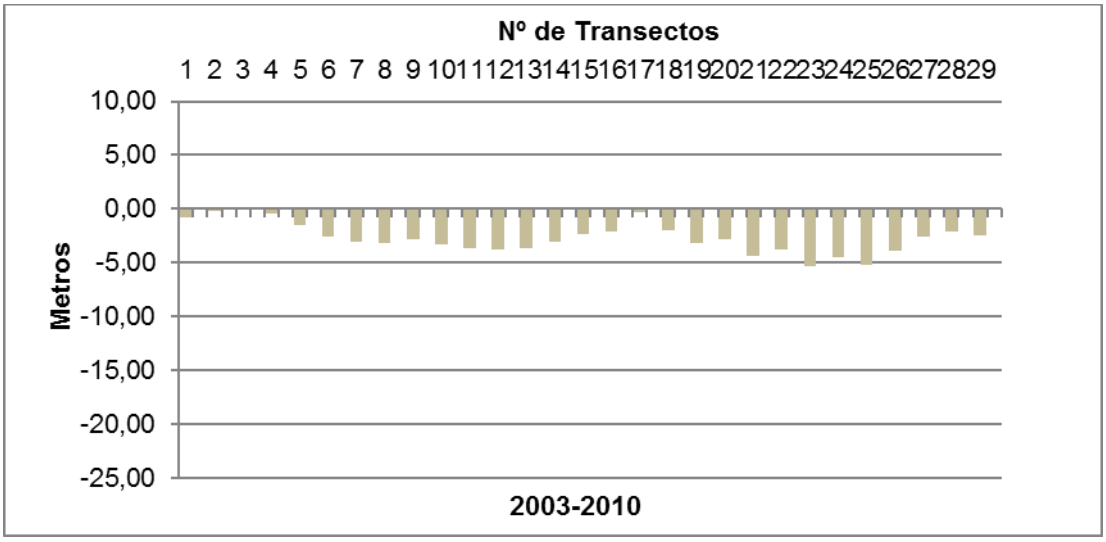

Figura 5.11- Total de recuo da linha de costa por transecto na praia do Tarrafal, ilha de Santiago.

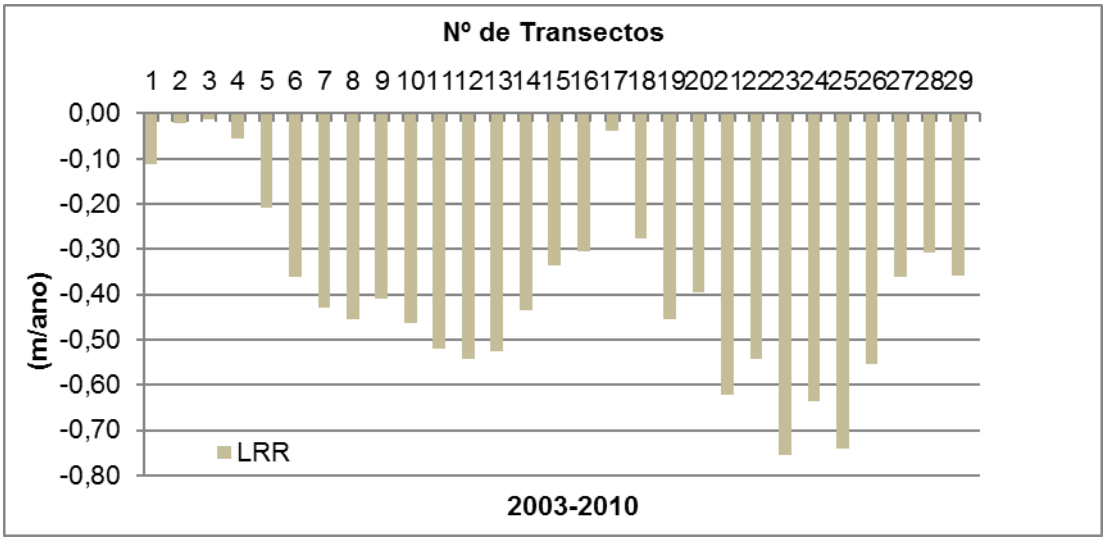

Figura 5.12- Taxa de recuo (valores negativos=recuo) da linha de costa na praia do Tarrafal, ilha de Santiago.

5.5.4- Análise da evolução da linha de costa entre 1961-2010

Na análise do período total, desde a fotografia aérea mais antiga (1961) até à fotografia aérea mais recente (2010), período que corresponde a 49 anos, a praia do Tarrafal sofreu um recuo médio de 14,05m em 49 anos, a que corresponde uma taxa de recuo média de 0,29m/ano (Tabela 5.7).

O setor norte, com uma taxa de recuo médio de 0,40m/ano, estabelece-se desta forma como o setor mais exposto à erosão desta praia, o que seria expectável tendo em conta a evolução verificada nos três períodos em análise (Tabela 5.7; Figura 5.14). Apenas no período de 1992-2003 o setor centro teve maior taxa de recuo, sendo que, em 49 anos, o setor norte sofreu um recuo médio total de 19,70m (Tabela 6.7; Figura 5.13).

Nesta análise importa destacar o setor sul, uma vez que, ao longo dos períodos em análise com exceção do primeiro (1961-1992) onde apresenta a maior taxa de recuo médio, todos os restantes períodos verificou-se uma certa estabilidade no que respeita ao recuo médio anual. Sendo certo que nestes 49 anos e analisando a taxa de recuo dos 29 transectos, o transecto 1, foi o que apresentou maior taxa média de recuo, obtendo 0,31m/ano neste setor, tendo sido também um dos transectos com maior taxa média de recuo nos três períodos estudados (Tabela 5.7; Figuras 5.13 e 5.14).

Tabela 5.7- Evolução da linha de costa entre 1961-2010 na praia do Tarrafal, ilha de Santiago.

Setores da Praia do Tarrafal	Taxa de recuo médio anual (m)	Total de recuo médio entre 1961-2010 (m)
Setor Sul	0.20	9.60
Setor Centro	0.26	12.85
Setor Norte	0.40	19.70
Total	0.29	14.05

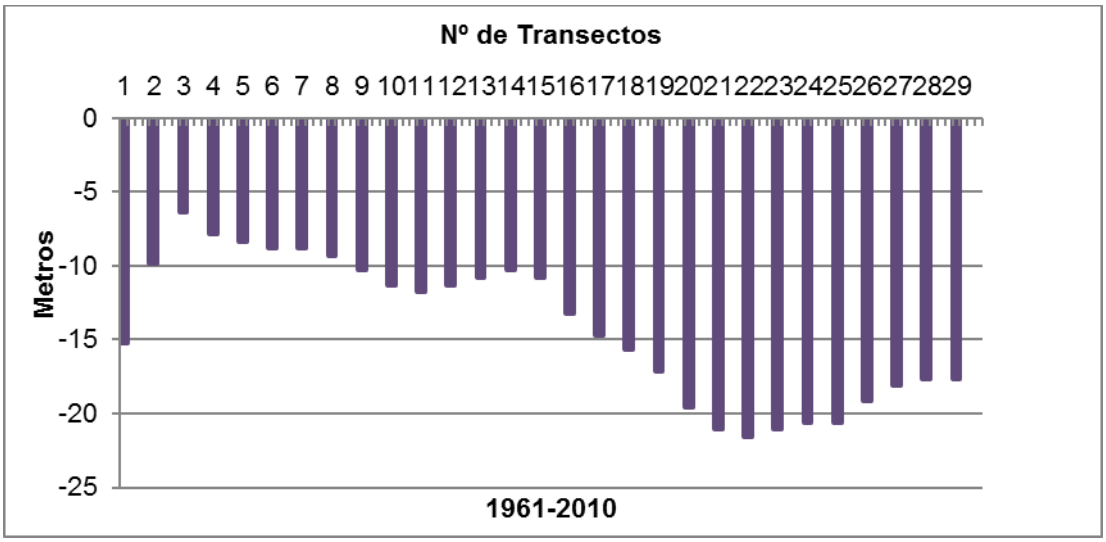

Figura 5.13- Total de recuo da linha de costa por transecto (m) na praia do Tarrafal, ilha de Santiago.

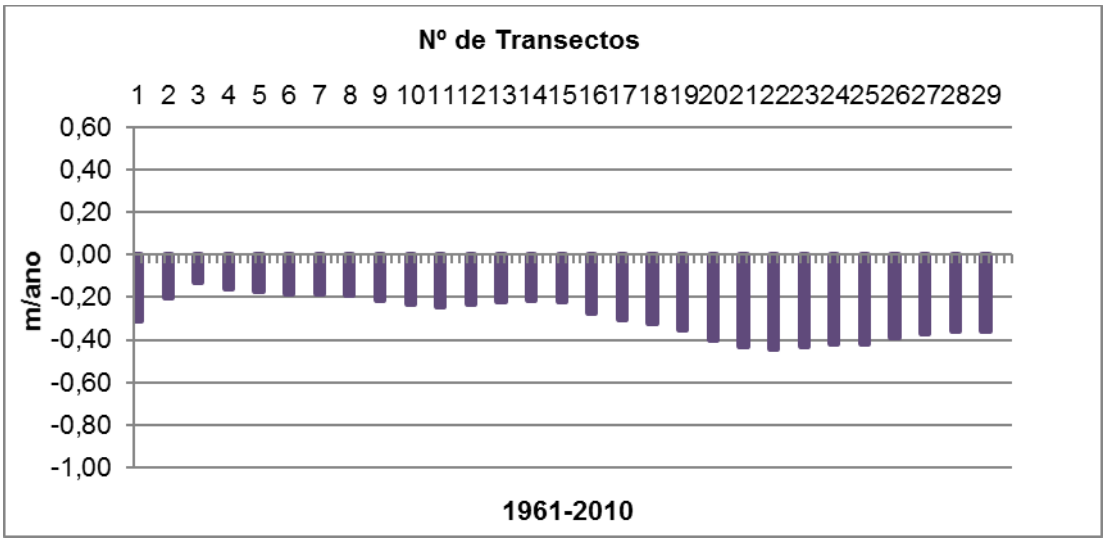

Figura 5.14- Taxa de recuo (valores negativos=recuo) da linha de costa na praia do Tarrafal, ilha de Santiago.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A dificuldade em realizar trabalho de campo em projetos desta natureza quando realizados fora do território em estudo requer, ou pelo menos, seria bastante favorável para a fiabilidade do estudo, a confrontação com outros resultados para a mesma área de estudo ou similar. Na bibliografia disponível não existem trabalhos científicos/académicos versando o mesmo tema e a mesma ilha ao que aqui se apresenta, sendo, por isso, difícil aferir se os resultados que apresentamos são representativos da realidade que ocorre na ilha de S. Nicolau. Esta comparação tornar-se-ia ainda mais importante caso houvesse um inventário de movimentos de vertente validado no campo, o que traria maior fiabilidade ao inventário criado no presente trabalho através da técnica de fotointerpretação.

As maiores dificuldades encontradas durante a realização do presente trabalho prendem-se essencialmente com a criação do inventário de movimentos de vertente. Este foi um processo, de certa maneira, complexo e moroso.

Igualmente importante seria ter informação cartográfica temática que sustentasse a avaliação da suscetibilidade a movimentos de vertente, como, por exemplo, cartografia geológica detalhada com base lito estratigráfica, bem como, uma cartografia de uso e ocupação do solo igualmente detalhada e de preferência atualizada permitiria melhorar a qualidade do modelo de suscetibilidade a movimentos de vertente.

No entanto, o trabalho realizado demonstrou a importância da litologia e essencialmente dos declives no desencadeamento dos movimentos de vertente, como seria expectável. As vertentes expostas ao quadrante Norte mostraram também uma certa importância nas áreas de suscetibilidade a movimentos de vertente ocorridos em São Nicolau, enquanto o uso e ocupação do solo e, como tal, as atividades humanas não foram capazes de demonstrar a sua significância. Destacam-se unicamente os scores do valor informativo das zonas sem vegetação ou de vegetação esparsa, uma vez que, a ausência de vegetação associada ao clima árido e semiárido característico do arquipélago de Cabo Verde, ou através do desmatamento por ação antrópica, são fatores importantes na instabilização das

vertentes, e deste modo, com fortes probabilidades de ocorrência de movimentos de vertente.

Os SIG mostraram ser uma ferramenta indispensável à realização deste trabalho, possibilitando através da computação, a aquisição, preparação e integração da informação geográfica na construção dos modelos de suscetibilidade.

Por sua vez, o Método do Valor Informativo mostrou através dos resultados obtidos e após validação com base na Taxa de Sucesso, ser um método bastante consistente na determinação da suscetibilidade à ocorrência deste tipo de fenómenos. Por outro lado, a suscetibilidade determinada para a erosão das praias, através da análise multicritério com integração da informação através da Combinação Linear Ponderada, revelou ser uma excelente ferramenta no apoio à decisão, sendo excelente quando as variáveis a tratar não são contínuas e/ou categóricas.

Quando se realizam estudos deste género, os resultados obtidos devem ser utilizados para aplicação no ordenamento do território. Desta forma, a aplicabilidade da cartografia resultante deste trabalho deverá ser tida em conta por políticos e decisores no apoio a tomadas de decisão. Nesta perspetiva, recomenda-se que em zonas de suscetibilidade elevada e muito elevada, seja em vertentes do interior, seja nas arribas do litoral que promovam a erosão costeira, devem ser colocadas restrições totais à construção de novos edifícios ou de outras infraestruturas como estradas, pois são áreas que se apresentam muito suscetíveis à ocorrência de movimentos de vertente no futuro. Assim, e com vista às revisões dos PDM e elaboração dos PROT, estas áreas deveriam ser integradas nos respetivos planos como sendo não edificáveis. Esta cartografia seria igualmente proveitosa se aplicada pelos políticos e decisores no desenvolvimento de políticas que visem a gestão do risco associada à instabilidade de vertentes e erosão costeira, de modo, a que se minimizem situações futuras com consequências prejudiciais que ponham em causa bens materiais, vidas humanas e que sejam prejudiciais para o ambiente. Neste sentido, a freguesia de Nossa Senhora da Lapa que representa um total de suscetibilidade elevada e muito elevada de 27,6% nas vertentes do interior e 19,7% na faixa costeira, é deste modo a freguesia com maior suscetibilidade a movimentos

de vertente. Tal como foi referido atrás, a inexistência de inventários com registo de ocorrências de movimentos de vertente antigos impossibilitou a confrontação destes resultados, Deste modo, é importante que, no futuro, os movimentos de vertente que venham a ocorrer sejam inventariados e alojados em bases de dados SIG, de modo a que nos próximos estudos seja possível a confrontação dos resultados.

Os impactos associados à erosão costeira em particular a erosão das praias, deveriam ser levados em consideração por parte dos agentes políticos e especialmente pelos municípios de modo a promoverem ações de sensibilização e educação junto da população no que respeita à extração de areias das praias, uma vez que, "a extração de areia tem uma consequência direta negativa e significativa na diminuição das praias com fortes implicações nos nichos ecológicos das espécies marinhas, (...) tem um impacte moderado nas funções balneares, (...) e um impacte pouco significativo na salinização e qualidade das águas subterrâneas" **(Lopes, 2010, p.77)**. Assim, a freguesia de Nossa Senhora do Rosário que apresenta um total de suscetibilidade a erosão elevada na ordem dos 56%, deve ser no futuro alvo de um plano específico de sensibilização junto da população.

Em suma, é relevante realçar que é importante desenvolver trabalhos de investigação que permitam aprofundar os temas em estudo e descobrir as relações de interação entre os fatores que podem explicar o desencadear deste tipo de fenómenos em São Nicolau. São fenómenos físicos que podem trazer consequências graves às populações e suas atividades, portanto, quanto maior for o seu conhecimento, melhor se pode preparar a sua mitigação para que, no futuro, não se verifiquem movimentos de vertente com as mesmas consequências como as que se verificaram em Setembro de 2009 na localidade de Covoada, Vila da Ribeira Brava quando, além da destruição de infraestruturas e perda de bens materiais, causaram a morte a 3 pessoas, entre as quais duas crianças. Assim, pretende-se que este trabalho seja útil na tomada de decisões, nas medidas de prevenção e mitigação, para que no futuro a ocorrência de movimentos de vertente seja o menos grave possível.

O DSAS mostrou ser, também ele, um excelente método para determinar a suscetibilidade à erosão das praias, através dos cálculos de evolução das linhas de

costa. No entanto, e como foi possível constatar neste trabalho, esta metodologia requer uma boa qualidade na resolução das fotografias aéreas, uma vez que é nelas que se identificam as posições das linhas de costa, e para tal a georreferenciação depende da uma boa resolução, de modo a poder-se identificar pontos homólogos que permitam fazer uma georreferenciação com o menor erro possível. A utilização desta metodologia pressupõe que seja feita uma análise temporal longa, de maneira a que os resultados de recuo/acreção sejam significativos, para que possam posteriormente ser utilizados como apoio nas medidas de mitigação de erosão costeira. No que respeita à localização da praia do Tarrafal (Santiago), a variação da posição da linha de costa nesta praia não é muita acentuada, essencialmente por 3 fatores: i) ondulação fraca; ii) praia situada em local abrigado; e iii) fraco declive de praia.

BIBLIOGRAFIA

Alfama, V. (2007) Património Geológico da Ilha do Fogo (Cabo Verde): Inventariação, Caracterização e Propostas de Valorização. Dissertação para obtenção do grau de Mestre. Universidade do Minho: 216pp.

Anders, F., Byrnes, M. (1991) - Accuracy of shorelines change rates as determined from maps and aerial photographs. Shore & Beach, 59(1): 17-26pp.

Antunes, A. (2008) Riscos Geológicos Associados às Construções nas Encostas e Leito das Ribeiras no Concelho de São Lourenço dos Órgãos. Dissertação para obtenção do grau de Licenciatura. Instituto Superior de Educação. Santiago, Cabo Verde: 62pp.

APA (2012) Plano de Ação de Proteção e Valorização do Litoral 2012-2015. Agência Portuguesa do Ambiente, I.P. Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território: 100pp.

Boak, H. E., Turner, L. I (2005) Shoreline Definition and Detection: A Review. Journal of Coastal Research, SI 21: 688-703pp.

Bird, E.C.F. (2008) Coastal Geomorphology: an introduction. (E.Bird, Ed) - Second Edition. John Wiley & Sons, Ltd: 436pp.

Bush, D., Neal, W., Young, R., Pilkey, O. (1999) - Utilization of geoindicators for rapid assessment of coastal-hazard risk and mitigation. Ocean & Coastal Management 42 (1999): 647-670.

Charlier, R. H., Meyer, C. P .D. (1998) Coastal Erosion: Response and Management. Sringer the language of science. Berlim: 353 pp.

Chaves, M., Vital, H., Silveira, I. (2006) Beach morphodynamics of the serra oil field, Northeastern Brazil. Journal of Coastal Research, SI 39: 594-597pp.

Chung, C., Fabbri, G. A. (2008) Predicting landslides for risk analysis - Spatial Models tested by a cross-validation technique. Geomorphology, 94: 438-452pp.

Costa, F., Silva, A., Ventura, J. (2011) Contributos da Geografia Física para a gestão integrada do litoral da ilha da Boavista. VI Congresso Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos países de expressão portuguesa, 4-8 Abril 2011, Boavista, Cabo Verde: 13pp.

Cruden, D. M. (1991) A simple definition of a landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, nº43. Paris: 27-29pp.

Cruden, D.M., Varnes, D.J. (1996) Landslide types and processes: 36-75pp.

Crowell, M., Leatherman, S.P., Buckley, M.E. (1991) - Historical shoreline change: Error analysis and mapping accuracy. Journal of Coastal Research, 7(3): 839-852pp.

Davies, J. L. (1964) A morphogenic approach to world shorelines*, Zeitschrift für Geomorphology*, 8: 127-142pp.

Duarte, G. (2013) - Ordenamento costeiro em territórios insulares. Recomendações para o processo em Cabo Verde. Dissertação para obtenção de grau de Mestre. Instituto Superior Técnico. Lisboa: 117pp.

Eastman R. J. (1998) Idrisi for Windows. Manual do usuário. Introdução exercícios tutoriais. Heinrich H., Weber E (Eds.) Centro de Recursos Idrisi, Porto Alegre, Brasil: 245pp.

Epifânio, B. (2013) Instabilidade de Arribas e Avaliação de Risco no Litoral da Lourinhã. Dissertação para obtenção de grau de Mestre. Instituto de Geografia de Ordenamento do Território. Universidade de Lisboa: 109pp.

Epifânio, B., Zêzere, J.L., Neves, M. (2013) Identification of hazardous zones combining cliff retreat rates with landslide susceptibility assessment. Journal of Coastal Research, 65: 1681-1686pp.

EUROSION (2006) Viver com a erosão costeira na Europa. Sedimentos e espaço para a sustentabilidade. Resultados do estudo EUROSION. União Europeia, Luxemburgo: 21pp.

Ferreira, P., Carvalho, D. (2003) Métodos Alternativos de Controlo e Limitação da Utilização de Areia na Construção Civil e Obras Públicas. Equipa de coordenação para a elaboração do segundo plano de ação nacional para o ambiente (PanaII), Ministério do Ambiente, Agricultura e Pescas Gabinete de Estudos e Planeamento: 111pp.

Galli, M., Ardizzone, F., Cardinali, M. (2008) Comparing landslide inventory maps. Geomorphology, 94: 268-289.

Garcia, R. A. C. (2002) Avaliação do Risco de Movimentos de Vertente na Depressão da Abadia. Dissertação para obtenção de grau de Mestre. Faculdade de Letras. Universidade de Lisboa: 182pp.

Garcia, R. A. C. (2012) Metodologias de Avaliação da Perigosidade e Risco associado a Movimentos de Vertente Aplicação na bacia do rio Alenquer. Dissertação para obtenção de grau de Doutor. Instituto de Geografia e Ordenamento do Território. Universidade de Lisboa: 469pp.

Glade, T., Anderson, M., Crozier, M.J (2005) Landslide hazard and risk. John Wiley, & Sons Ltd, The atrium, Southern gate, Chicester: 801pp.

Gomes, S. (2011) Avaliação de Impacte de Apanha e Extracção de Inertes na Ribeira da Barca - Ilha de Santiago - Cabo Verde. Dissertação para obtenção de grau de Mestre. Instituto Superior de Agronomia. Universidade Técnica de Lisboa: 82pp.

Gonçalves, A. (2008) Vulcanologia e seus Impactos no Concelho de Santa Catarina - Ilha do Fogo: 67pp.

Gusmão, C. (2010) Evolução Atual do Litoral Foz do Litoral - Malhadinha. Dissertação para obtenção de grau de Mestre. Instituto de Geografia de Ordenamento do Território. Universidade de Lisboa: 136pp.

Guzzetti, F. (2005) Landslide Hazard and Risk Assessment. Dissertação para obtenção do grau de Doutor. Mathematich Naturwissenschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms, Universidade de Bonna: 389pp.

Henriques, C. S. (2009) Dinâmica de vertentes no contexto da reserva ecológica nacional: O caso de estudo do concelho de Caldas da Rainha. Dissertação para obtenção do grau de Mestre. Faculdade de Letras, departamento de Geografia. Universidade de Lisboa: 148pp.

Hernández, R. A. (2008) Caracterização dos Solos da Ilha de Santiago (Cabo Verde) numa perspetiva de sustentabilidade ambiental. Dissertação para obtenção de grau de Mestre. Departamento de Geociências. Universidade de Aveiro: 370pp.

Hidroprojecto (1997a) - *Gestão da Zona Costeira. Volume I - Atlas da Natureza da Costa e da Ocupação do Litoral, Reconhecimento Fotográfico*. Direcção Geral de Marinha e Portos - República de Cabo Verde. Hidroprojecto - Engenharia e Gestão, S.A., Lisboa, Portugal: 75pp.

Hidroprojecto (1997b) - Gestão da Zona Costeira. Volume II – Caracterização dos processos litorais e dos recursos vivos. Direcção Geral de Marinha e Portos - República de Cabo Verde. Hidroprojecto - Engenharia e Gestão, S.A., Lisboa, Portugal: 50pp.

Himmelstoss, E.A. (2009) - "DSAS 4.0 Installation Instructions and User Guide" in: Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L., and Ergul, Ayhan. 2009 Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 — An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open-File Report: 2008-1278.

Hoyos, N., Acosta, S., Correa, I. D. (2006) Sistema de información geográfica para el estudio de la erosión litoral en el Departamento de Córdoba. Colombia: Herramienta de diseño, implementación y uso. Gestión y Ambiente, vol. 9, nº3. Universidad Nacional de Colombia: 147-156pp.

Hyman, T. (2013) Assessing the vulnerability of beach tourism and non-beach tourism to climate change: a case study from Jamaica, Journal of Sustainable Tourism, vol. 21, Issue 1: 1-19pp.

IGEOE (2002) Boletim dos Instituto Geográfico do Exército. ISSN 0872-7600, 64: 80pp.

Lima, L., Martins, F. (2009) Os desafios da Gestão Costeira em Cabo Verde. Cabo Verde Redes e Desenvolvimento Regional. 1º Congresso de Desenvolvimento Regional de Cabo Verde, 2º Congresso Lusófono de Ciência Regional, v.2:56-65pp.

LOID-Engenharia (2009) Alargamento do terrapleno e construção de uma nova via de acesso na zona nordeste do Porto Grande, S. Vicente. Análise dos efeitos sobre a praia da Laginha. Relatório, ENAPOR, Cabo Verde: 22pp.

Lopes, E. (2010) Mulheres e Ambiente: A problemática da apanha de inertes na Ilha de Santiago (Cabo Verde). Dissertação para obtenção do grau de Mestre. Faculdade de Letras. Universidade de Coimbra. 106pp.

Lopes, E., Cunha, L. (2012) A mulher e a extração clandestina de inertes em Cabo Verde. Mercator - Revista de Geografia da UFC, vol. 11, nº 25. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, Brasil. 71-86pp.

Lozoya, J., Sardá. R., Jiménez, J. (2011) A methodological framework for multi-hazard risk assessment in beaches. Environmental Science and Policy, 14 – 6: 685-696pp.

Marino, M., Freire, G. (2013) Análise da evolução da linha de costa entre as Praias do Futuro e Porto das Dunas, Região Metropolitana de Fortaleza, Estado do Ceará, Brasil. Revista da Gestão Costeira Integrada, 13(1): 113-129pp.

Matildes, R. M. H. (2009) Deteção fotogramétrica de movimentos em arribas costeiras e gestão do inventário num sistema de informação geográfica. Dissertação para obtenção do grau de Mestre. Faculdade de Ciências, departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia. Universidade de Lisboa. 181pp.

Matos, J (2008) Fundamentos da Informação Geográfica. "6ª" ed. LIDEL – Edições Técnicas, LDA: 405pp.

Moreno, C. (2009) Aplicação de SIG no processamento do inventário florestal nacional - Cabo Verde. Dissertação para obtenção do grau de Mestre. Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação. Universidade Nova de Lisboa: 93pp.

Neves, M. (2004) Evolução atual dos litorais rochosos da Estremadura Norte. Estudo de Geomorfologia. Dissertação para obtenção do grau de Doutor. Faculdade de Letras, departamento de Geografia. Universidade de Lisboa: 574pp.

Neves, M. (2008) Anthropogenic modifications in the erosional rhythm of a coastal cliff. Rocha do Gronho (Western coast of Portugal). Journal of Iberian Geology. 34(2): 299-312pp.

Oliveira, S. M. C. (2005) Evolução recente da linha de costa no troço costeiro Forte Novo - Garrão (Algarve). Dissertação para obtenção do grau de Mestre. Faculdade de Ciências. Universidade de Lisboa. 137pp.

Oliveira, S. M. C. (2012) Incidência espacial e temporal da instabilidade geomorfológica na Bacia do Rio Grande da Pipa (Arruda dos Vinhos). Dissertação para obtenção do grau de Doutor. Instituto de Geografia e Ordenamento do Território. Universidade de Lisboa: 496pp.

Pereira, J. (2010) Conceção de uma estratégia de geoconservação para Cabo Verde e sua aplicação à Ilha de Santiago. Dissertação para obtenção do grau de Doutor. Escola de Ciências. Universidade do Minho: 404pp.

Pereira, S. (2009) Perigosidade a movimentos de vertente na região Norte de Portugal. Dissertação para obtenção do grau de Doutor. Faculdade de Letras. Universidade do Porto: 354pp.

Prukpitikul, S., Buakaew, V., Keshdet, W., Kongprom, A., Kaewpoo, N. (2012) Shoreline change prediction model for coastal zone management in Thailand. Journal of Shipping and Ocean Engineering, 2: 238-243pp.

Ramalho, R. (2011) Building the Cape Verde Islands. Dissertação para obtenção de grau de Doutor. Universidade de Bristol, United Kingdom. Springer: 227pp.

RCV (2012) Cabo Verde no contexto do desenvolvimento sustentável. Relatório à conferência Rio+20, Rio de Janeiro, 20-22 Junho 2012: 33pp.

Reis, E., Zêzere, J.L., Vieira, G., Rodrigues, M. (2003) Integração de dados espaciais em SIG para avaliação da suscetibilidade à ocorrência de deslizamentos. Finisterra, XXXVIII, 76: 3-34pp.

Rocha, R (2010) Aplicação dos sistemas de informação geográfica em estudos de caracterização biofísica da Ilha de Santo Antão em Cabo Verde. Dissertação para obtenção do grau de Mestre. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real: 195pp.

Ruggiero, P., Kratzmann, M., Himmelstoss, E., Reid, D., Allan, J., Kaminsky, G. (2013) - National assessment of shoreline change: historical shoreline change along the Pacific Northwest coast. USGS Open-File Report, 2012-1007: 76 pp.

Saaty, T., Vargas, L. (2012) Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process. Springer, New York: 341pp.

Santos, F., Forbes, K., Moita, R. (2001) Mudança climática em Portugal. Cenários, Impactes e medidas de adaptação - SIAM. Sumário executivo e conclusões, Gradiva, Lisboa: 26pp.

Santos, F., Miranda, P. (2006) Alterações climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação. Projeto SIAM II, Gradiva, Lisboa: 500pp.

Sharples, C., Walford, H., Roberts, L. (2013) Coastal erosion susceptibility zone mapping for hazard band definition in Tasmania. Report to Tasmanian Department of Premier and Cabinet: 109pp.

Silva, P. (2012) A tendência da linha de costa entre as praias de Maceda e S. Jacinto. Dissertação para obtenção do grau de Mestre. Departamento de Ambiente e Ordenamento. Universidade de Aveiro: 111pp.

Silva, M, P. (2005) Caracterização ambiental e proposta de gestão integrada para o litoral da cidade do Mindelo (S.Vicente - Cabo Verde). Dissertação para obtenção do grau de Mestre. Faculdade de Ciências e Tecnologia, departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente. Universidade Nova de Lisboa: 148pp.

Sousa, P. (2010) Efeito estruturante das redes de transporte no território. Modelo de análise. Dissertação para obtenção do grau de Doutor. Instituto de Geografia e Ordenamento do Território. Universidade de Lisboa: 329pp.

Souza, C. (2009) A erosão nas praias do Estado de São Paulo: Causas, consequências, indicadores de monitoramento e risco. In: Bononi, V.L.R., Santos Junior, N.A. (Org.), Memórias do Concelho Cientifico da Secretaria do Meio Ambiente: A síntese de um ano de conhecimento acumulado. Instituto de Botânica - Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. São Paulo, Brasil: 29pp.

Tagliani, C. (2003) Técnica para avaliação da vulnerabilidade ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informações. Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05. INPE: 1657-1664pp.

Tavares, S. (2008) Erosão costeira e movimentos de massa no Concelho de São Domingos. Dissertação para obtenção do grau de licenciatura. Departamento de Geociências. Instituto Superior de Educação. Santiago, Cabo Verde. 77pp.

Teixeira, M. (2005) Movimentos de Vertente: Factores de Ocorrência e Metodologia de Inventariação. Associação Portuguesa de Geólogos. Geonovas nº19: 95-106pp.

Varela, A., Delgado, A., Cruz, E., Lopes, I., Correia, M., Duarte, O., Correia, S. (2011) Adaptação das políticas de pesca às mudanças climáticas na África Ocidental. APPECCAO/Cabo Verde. Análise das Instituições e Políticas de Pesca em Cabo Verde. Instituto Nacional de Desenvolvimento de Pescas, Mindelo: 127pp.

Victória, S. (2012) Caracterização geológica e geotécnica das unidades litológicas da Cidade da Praia (Santiago, Cabo Verde). Dissertação para obtenção do grau de Doutor. Faculdade de Ciências e Tecnologia, departamento de Ciências da Terra. Universidade de Coimbra: 341pp.

Yin, K. L., Yan, T. Z. (1988) - Statistical prediction models for slope instability of metamorphosed rocks. In Bonnard, C. (Ed.), Landslides, Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides, 2, Balkema, Rotterdam, p. 1269–1272.

Zambon, K., Carneiro, A., Silva, A., Negri, J. (2005) Análise de decisão multicritério na localização de usinas termoelétricas utilizando SIG. Pesquisa Operacional, v.25,nº2: 183-199pp.

Zêzere, J.L. (2005) Dinâmica de vertentes e riscos geomorfológicos. Centro de Estudos Geográficos, área de Geografia Física e Ambiente, relatório nº41, Lisboa: 129pp.

Zêzere, J.L. (2002) Landslide susceptibility assessment considering landslide typlogy. A case study in the area north of Lisbon (Portugal). Natural Hazards and Earth System Sciences, 2: 73-82pp.

Zêzere, J.L. (2001) Distribuição e ritmo dos movimentos de vertente na Região a norte de Lisboa. Geografia Física e Ambiente. Centro de Estudos Geográficos, Lisboa: 167pp.

Zêzere, J.L. (2000) A classificação dos movimentos de vertente: Tipologia, Actividade e Morfologia. Centro de Estudos Geográficos, apontamentos de Geografia - série de investigação nº6, Lisboa: 35pp.

INE (2010) Informação do CENSO 2010. População por ilhas, Cabo Verde.

Websites

CNN (2014) Afghanistan mourns landslide victims. http://edition.cnn.com/2014/05/04/world/europe/afghanistan-landslide/ [Acedido em 26 de Junho de 2014]

Jornal de Noticias (2009) Enxurradas matam três pessoas em Cabo Verde. Chuvas torrenciais continuam a fustigar as ilhas Norte do Arquipélago. http://www.jn.pt/paginainicial/pais/concelho.aspx?Distrito=Porto&Concelho=Porto&Option=Interior&content_id=1366897 [Acedido em 26 de Junho de 2014]

Noticias sapo (2009) Chuvas em São Nicolau. http://noticias.sapo.cv/info/artigo/1035231.html [Acedido em 26 de Junho de 2014]

Morabitur (2003-2011) Cabo Verde, viagens e turismo. As ilhas. http://www.morabitur.com/?q=pt-pt/node/21[Acedido em 6 de Setembro de 2014]

ANEXOS

ANEXO A - FIGURAS

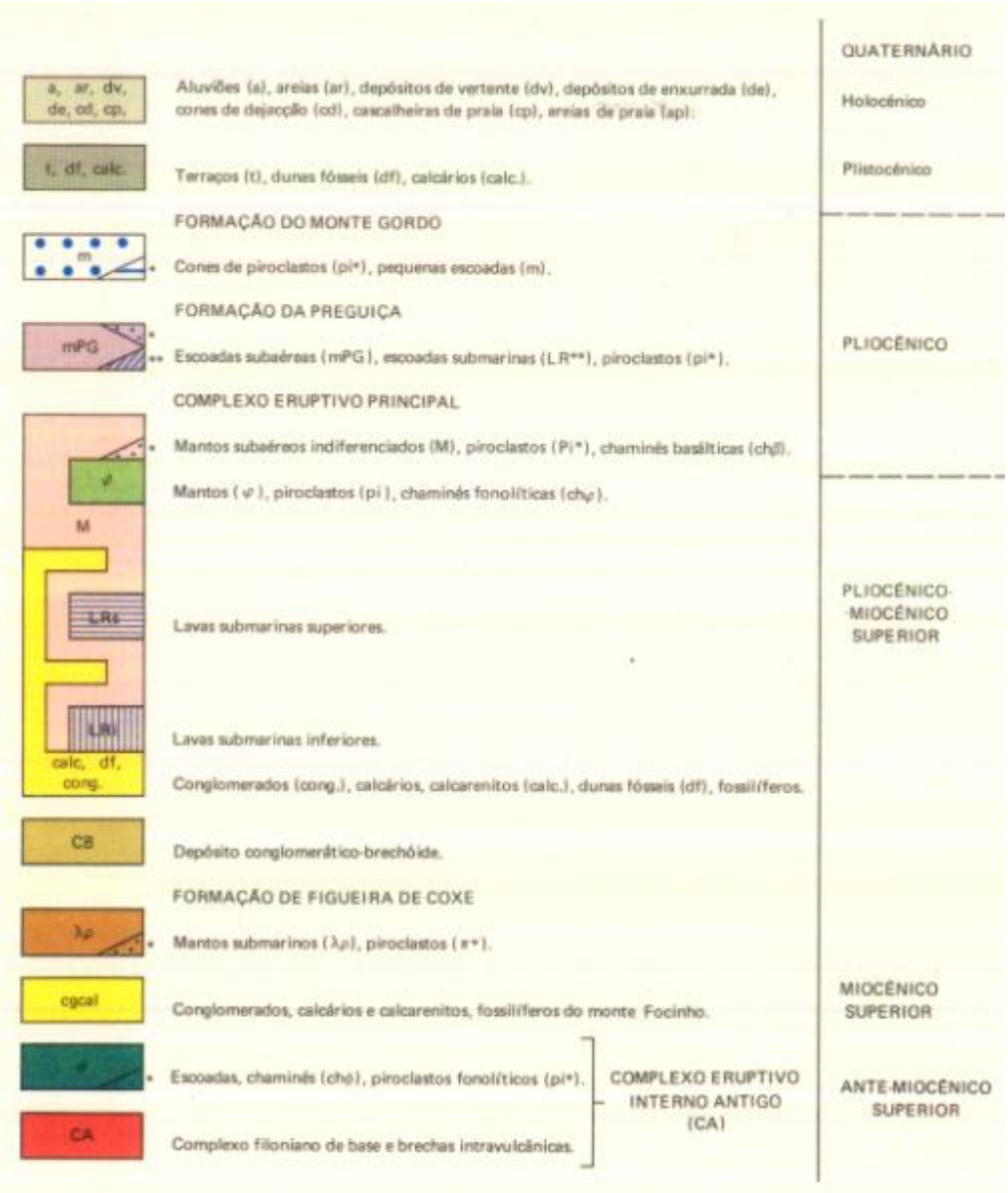
QUATERNÁRIO
a, ar, dv, de, cd, cp,
Aluviões (a), areias (ar), depósitos de vertente (dv), depósitos de enxurrada (de), cones de dejacção (cd), cascalheiras de praia (cp), areias de praia (ap).
Holocénico
t, df, calc.
Terraços (t), dunes fósseis (df), calcários (calc.).
Plistocénico
FORMAÇÃO DO MONTE GORDO
m
Cones de piroclastos (pi*), pequenas escoadas (m).
FORMAÇÃO DA PREGUIÇA
mPG
Escoadas subaéreas (mPG), escoadas submarinas (LR**), piroclastos (pi*).
PLIOCÉNICO
COMPLEXO ERUPTIVO PRINCIPAL
Mantos subaéreos indiferenciados (M), piroclastos (Pi*), chaminés basálticas (chβ).
Mantos (φ), piroclastos (pi), chaminés fonolíticas (chφ).
M
LRs
Lavas submarinas superiores.
PLIOCÉNICO-MIOCÉNICO SUPERIOR
LRi
Lavas submarinas inferiores.
calc, df, cong.
Conglomerados (cong.), calcários, calcarenitos (calc.), dunes fósseis (df), fossilíferos.
CB
Depósito conglomerático-brechóide.
FORMAÇÃO DE FIGUEIRA DE COXE
λp
Mantos submarinos (λp), piroclastos (x*).
cgcal
Conglomerados, calcários e calcarenitos, fossilíferos do monte Focinho.
MIOCÉNICO SUPERIOR
Escoadas, chaminés (chβ), piroclastos fonolíticos (pi*).
CA
Complexo filoniano de base e brechas intravulcânicas.
COMPLEXO ERUPTIVO INTERNO ANTIGO (CA)
ANTE-MIOCÉNICO SUPERIOR

Figura A1- Legenda da Carta Geológica de Cabo Verde, Ilha de São Nicolau. Fonte: Instituto de Investigação Científica Tropical. Centro de Geologia. Autores: A. Serralheiro, J. Rocha de Macedo e L. Celestino Silva. Executada pelo serviço cartográfico do exército. Ano de edição: 1975. Escala: 1:50 000

Figura A2- Fotografia aérea da praia do Tarrafal – Santiago (Cabo Verde) em 1961 com linha de costa assinalada a vermelho.

Figura A3- Fotografia aérea da praia do Tarrafal – Santiago (Cabo Verde) em 1992 com linha de costa assinalada a amarelo.

Figura A4- Fotografia aérea da praia do Tarrafal – Santiago (Cabo Verde) em 2003 com linha de costa assinalada a azul.

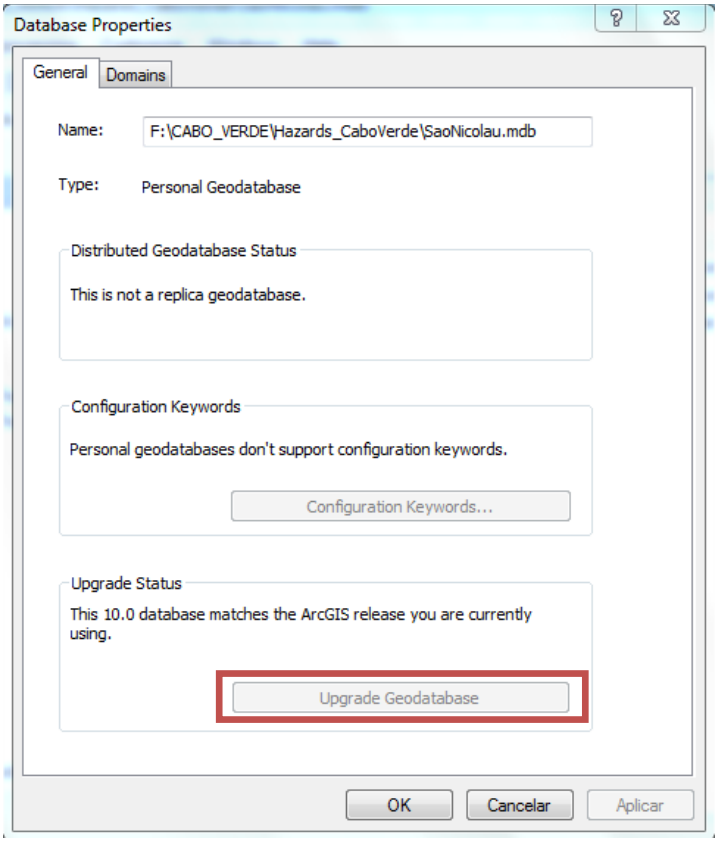

Figura A5- Procedimento para fazer *upgrade* da *geodatabase*

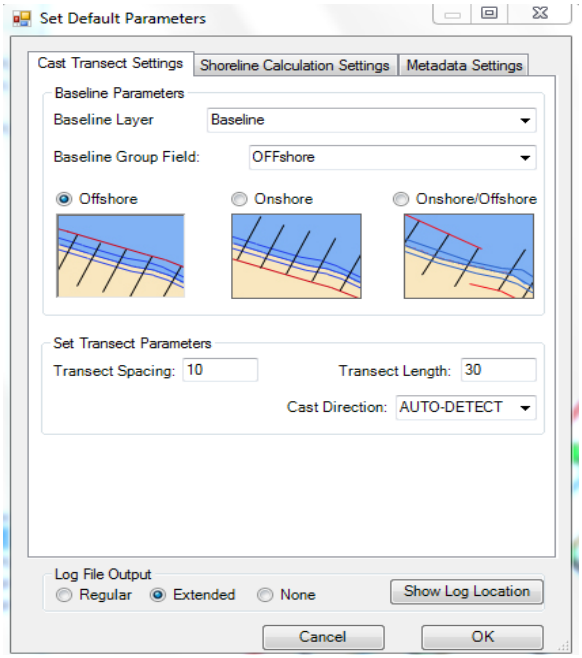

Figura A6- Parâmetros de entrada utilizados no DSAS. Parâmetros referentes à linha de base (*baseline*) *offshore, onshore e onshore/offshore*; equidistância dos transectos; comprimento dos transectos; e direção de lançamento dos transetos.

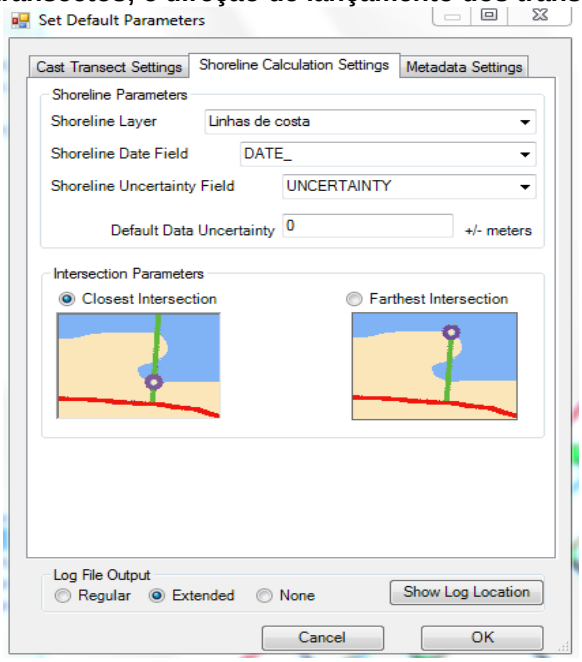

Figura A7- Parâmetros referentes às linhas de costa (*shorelines*); Date_ (campo em que estão referidas as datas de cada linha de costa); Uncertainty (campo referente ao valor de incerteza originado pela georreferenciação das imagens aéreas) por defeito define-se como zero; closest intersection (referente à linha onde o ponto de interseção deve ser criado, no caso de estudo, ao utilizar-se o método LRR é importante definir o ponto de interseção sempre que cruzar uma linha de costa)

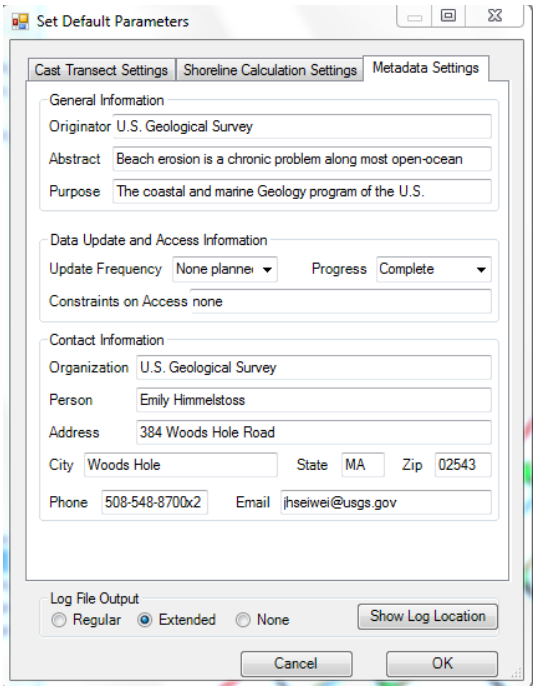

Figura A8- Parâmetro referente aos metadados. O preenchimento deste parâmetro tal como os anteriores é obrigatório. O preenchimento pode ser feito caso assim se entenda, com os dados fornecidos no guia de usuário do DSAS. Este ficheiro de metadados pode ser posteriormente consultado através do ArcCatalog.

ANEXO B- TABELAS

Tabela B1- Fontes de informação relativa aos dados utilizados

Tema	Fonte	Ilha	Sistema de Referência	Referência Temporal	Formato	Escala
Ortofotomapas	Munícipia	SN	Cónica Secante Lambert, WGS84	2003	SID	0.5
Ortofotomapas	GRAFCAN	SN	Cabo Verde National Grid. Cónica Conforme Lambert, WGS84	2010	ECW	0.4
Fotografias aéreas do Litoral	UCCP	ST	Não aplicável	1961	JPG	1:30 000
Fotografias aéreas do Litoral	UCCP	ST	Não aplicável	1992	JPG	1:6000
Cartografia	Munícipia	ST e SN	Cónica Secante Lambert, WGS84	2003	DGN	1:10 000 e 1:2000
Cartografia	Grafcan	ST e SN	Cabo Verde National Grid. Cónica Conforme Lambert, WGS84	2010	SHP	1:5000 e 1:10000
Carta geológica	IICT	SN	Não definido	1975	JPG e SHP	1:50 000
Carta de ocupação do solo	Munícipia; GLC (2000); MODIS (MCD12Q1); LAND COVER (version 005)	SN	Cabo Verde National Grid. Cónica Conform Lambert, WGS84	2000	SHP	1:10 000
Limites administrativos oficiais	UCCP	SN	Cabo Verde-ITRF96-Conica Secante de Lambert		SHP	
MDT	Altimetria e pontos cotados	SN	Cabo Verde National Grid. Cónica Conforme	2014	GRID	1:5000 Pixel:10m

	1:10 000		Lambert, WGS84			
Declives	MDT	SN	Cabo Verde National Grid. Cónica Conforme Lambert, WGS84	2014	GRID	1:5000 Pixel:10m
Exposições	MDT	SN	Cabo Verde National Grid. Cónica Conforme Lambert, WGS84	2014	GRID	1:5000 Pixel:10m
Curvatura Plana	MDT	SN	Cabo Verde National Grid. Cónica Conforme Lambert, WGS84	2014	GRID	1:5000 Pixel:10m
Faixa costeira	Altimetria	SN	Cabo Verde National Grid. Cónica Conforme Lambert, WGS84	2014	SHP	1:5000 Largura: 100m
Inventário dos movimentos de vertente	Própria	SN	Cabo Verde National Grid. Cónica Conforme Lambert, WGS84	2014	MDB	1:1500
Inventário dos sistemas de praia	Própria	SN	Cabo Verde National Grid. Cónica Conforme Lambert, WGS84	2014	MDB	1:2500

Tabela B2- Inventário das praias de São Nicolau, Cabo Verde

Nº de Praias	Exposição à ondulação	Extensão (km)	%
16	Norte	2800.87	25.1
12	Nordeste	2000.95	17.9
3	Este	280.33	2.5
6	Sudeste	796.98	7.1
3	Sul	386.45	3.5
12	Sudoeste	2943.04	26.4
4	Oeste	643.84	5.8
6	Noroeste	1306.15	11.7
62		**11,16**	**100.0**
Nº de Praias	**Características de praia**	**Extensão (km)**	**%**
35	Alongadas e abertas	6715.56	60.2
27	Encastradas	4443.04	39.8
62		**11,16**	**100.0**
Nº de Praias	**Praias de Calhaus**	**Extensão (km)**	**%**
12	Praia-Arriba	1670.93	53.0
16	Praia-Setor-Terminal-Vale	1482.82	47.0
28		**3,16**	**100.0**
Nº de Praias	**Praias de Areia**	**Extensão (km)**	**%**
19	Praia-Arriba	5819.94	72.7
15	Praia-Setor-Terminal-Vale	2184.91	27.3
34		**8,00**	**100.0**
Nº de Praias	**Tipos de praia por sistema**	**Extensão (km)**	**%**
31	Praia-Arriba	7490.87	67.1
31	Praia-Setor-Terminal-Vale	3667.73	32.9
62		**11,16**	**100.0**

Tabela B3- Parâmetros de cálculo para obtenção das classes de suscetibilidade à erosão das praias. A: Variáveis associadas à erosão. B: Ponderação atribuída a cada classe de variável. C: Multiplicação do peso de cada variável pela ponderação de cada classe. Ex: 30*0.4=12; 40*0.3=12; 40*0.2=8 Soma=32

Classe	A:Areia/Calhaus	Tipos de praia	Exposição	B:Ponderação de cada classe de variável			C:Peso de cada variável ponderado			D: Soma
	PAA	**A**	**NE**	**30**	**40**	**40**	**12**	**12**	**8**	**32**
	PAA	A	N	30	40	30	12	12	6	30
	PAA	I	NE	30	30	40	12	9	8	29
	PAA	A	E	30	40	20	12	12	4	28
	PAV	A	NE	20	40	40	8	12	8	28
	PAA	I	N	30	30	30	12	9	6	27
	PAA	E	NE	30	20	40	12	6	8	26
	PAV	A	N	20	40	30	8	12	6	26
	PAA	I	E	30	30	20	12	9	4	25
	PAV	I	NE	20	30	40	8	9	8	25
Elevada	PAA	A	SE	30	40	2	12	12	0.4	24.4
	PAA	A	S,SW,W	30	40	1	12	12	0.2	24.2
	PAA	E	N	30	20	30	12	6	6	24
	PAV	A	E	20	40	20	8	12	4	24
	PAA	I	NW	30	30	10	12	9	2	23
	PAV	I	N	20	30	30	8	9	6	23
	PAA	A	NW	20	40	10	8	12	2	22
	PAA	E	E	30	20	20	12	6	4	22
	PAV	A	NW	20	40	10	8	12	2	22
	PAV	E	NE	20	20	40	8	6	8	22
	PCA	A	NE	20	40	40	2	12	8	22
	PAA	**I**	**SE**	**30**	**30**	**2**	**12**	**9**	**0.4**	**21.4**
Moderada	PAA	I	S,SW,W	30	30	1	12	9	0.2	21.2
	PAV	I	E	20	30	20	8	9	4	21
	PCV	A	NE	10	40	40	1	12	8	21

PAV	A	SE	20	40	2	8	12	0.4	20.4
PAV	A	S,SW,W	20	40	1	8	12	0.2	20.2
PAA	E	NW	30	20	10	12	6	2	20
PAV	E	N	20	20	30	8	6	6	20
PCA	A	N	20	40	30	2	12	6	20
PAV	I	NW	20	30	10	8	9	2	19
PCA	I	NE	20	30	40	2	9	8	19
PCV	A	N	10	40	30	1	12	6	19
PAA	E	SE	30	20	2	12	6	0.4	18.4
PAA	E	S,SW,W	30	20	1	12	6	0.2	18.2
PAV	E	E	20	20	20	8	6	4	18
PCA	A	E	20	40	20	2	12	4	18
PCV	I	NE	10	30	40	1	9	8	18
PAV	I	SE	20	30	2	8	9	0.4	17.4
PAV	I	S,SW,W	20	30	1	8	9	0.2	17.2
PCA	I	N	20	30	30	2	9	6	17
PCV	A	E	10	40	20	1	12	4	17
PAV	E	NW	20	20	10	8	6	2	16
PCA	A	NW	20	40	10	2	12	2	16
PCA	E	NE	20	20	40	2	6	8	16
PCV	I	N	10	30	30	1	9	6	16
PCA	I	E	20	30	20	2	9	4	15
PCV	A	NW	10	40	10	1	12	2	15
PCV	E	NE	10	20	40	1	6	8	15
PAV	**E**	**SE**	**20**	**20**	**2**	**8**	**6**	**0.4**	**14.4**
PCA	A	SE	20	40	2	2	12	0.4	14.4
PAV	E	S,SW,W	20	20	1	8	6	0.2	14.2
PCA	A	S,SW,W	20	40	1	2	12	0.2	14.2
PCA	E	N	20	20	30	2	6	6	14

Reduzida

PCV	I	E	10	30	20	1	9	4	14
PCV	A	SE	10	40	2	1	12	0.4	13.4
PCV	A	S,SW,W	10	40	1	1	12	0.2	13.2
PCA	I	NW	20	30	10	2	9	2	13
PCV	E	N	10	20	30	1	6	6	13
PCA	E	E	20	20	20	2	6	4	12
PCV	I	NW	10	30	10	1	9	2	12
PCA	I	SE	20	30	2	2	9	0.4	11.4
PCA	I	S,SW,W	20	30	1	2	9	0.2	11.2
PCV	E	E	10	20	20	1	6	4	11
PCV	I	SE	10	30	2	1	9	0.4	10.4
PCV	I	S,SW,W	10	30	1	1	9	0.2	10.2
PCA	E	NW	20	20	10	2	6	2	10
PCV	E	NW	10	20	10	1	6	2	9
PCA	E	SE	20	20	2	2	6	0.4	8.4
PCA	E	S,SW,W	20	20	1	2	6	0.2	8.2
PCV	E	SE	10	20	2	1	6	0.4	7.4
PCV	E	S,SW,W	10	20	1	1	6	0.2	7.2

Nomenclatura	Descrição
PAA	Praia de areia limitada por arriba para o interior
PAV	Praia de areia com setor terminal de vale
PCA	Praia de calhaus limitada por arriba para o interior
PCV	Praia de calhaus limitada por setor terminal de vale para o interior

Tabela B4- Procedimentos efetuados no cálculo do Valor informativo

Fatores de predisposição	Classes	Si (m2)	Ni (m2)	Probabilidade de ocorrência de MV em cada classe	S	N	Ln((Si/Ni)/(S/N))
Declive (º)	0-5	80000	51569000	0.002	1027600	344705200	-5.2584
	5-10	730000	55022300	0.013	1027600	344705200	-3.1122
	10-15	1840000	43968900	0.042	1027600	344705200	-1.9634
	15-20	4070000	38293900	0.106	1027600	344705200	-1.0314
	20-25	7540000	35206200	0.214	1027600	344705200	-0.3307
	25-30	11410000	33079600	0.345	1027600	344705200	0.1459
	30-35	23990000	30334700	0.791	1027600	344705200	0.9756
	35-40	17300000	21290300	0.813	1027600	344705200	1.0027
	40-45	10900000	12631300	0.863	1027600	344705200	1.0629
	>45	24900000	23309000	**1.068**	1027600	344705200	**1.2763**
Exposição das vertentes	Terreno Plano	0	1138800	0.000	1027600	344705200	-1.1167
	Norte	29190000	40669400	**0.718**	1027600	344705200	**0.8786**
	Nordeste	13820000	39578400	0.349	1027600	344705200	0.1581
	Este	9690000	40045600	0.242	1027600	344705200	-0.2086
	Sudeste	4330000	43568200	0.099	1027600	344705200	-1.0985
	Sul	4750000	48675600	0.098	1027600	344705200	-1.1167
	Sudoeste	7500000	49360500	0.152	1027600	344705200	-0.6740
	Oeste	12350000	42762400	0.289	1027600	344705200	-0.0317
	Noroeste	21130000	38906300	0.543	1027600	344705200	0.5998
Altitude	0-200	27260000	158348100	0.172	1027600	344705200	-0.5491
	200-400	52190000	102894700	**0.507**	1027600	344705200	**0.5315**
	400-600	14560000	54043800	0.269	1027600	344705200	-0.1012
	600-800	8610000	22307500	0.386	1027600	344705200	0.2583

	800-1000	140000	5457100	0.026	1027600	344705200	-2.4527
	1000-1200	0	1456100	0.000	1027600	344705200	-2.4527
	>1200	0	197900	0.000	1027600	344705200	-2.4527
Curvatura das vertentes	Côncava	52480000	137812500	**0.381**	1027600	344705200	**0.2448**
	Retilínea	4140000	40338000	0.103	1027600	344705200	-1.0663
	Convexa	46140000	166554700	0.277	1027600	344705200	-0.0734
Uso e ocupação do solo	Área urbana	180000	2765500	0.065	1027600	344747200	-1.5216
	Arvoredo	40000	18533800	0.002	1027600	344747200	-4.9281
	Mato	21540000	120580000	0.179	1027600	344747200	-0.5120
	Zona sem vegetação ou esparsa	79290000	186367500	**0.425**	1027600	344747200	**0.3558**
	Praia arenosa	30000	383500	0.078	1027600	344747200	-1.3377
	Leito de ribeira	180000	2699300	0.067	1027600	344747200	-1.4974
	Área de cultivo	1460000	12460500	0.117	1027600	344747200	-0.9337
	Área verde	0	48900	0.000	1027600	344747200	-4.9281
	Estradas	40000	908200	0.044	1027600	344747200	-1.9122
Litologia	Complexo Eruptivo Principal	58350000	173275600	0.337	1027600	344748600	0.1220
	Cones piroclásticos	8020000	66495800	0.121	1027600	344748600	-0.9048
	Lavas submarinas inferiores	220000	2459000	0.090	1027600	344748600	-1.2035
	Lavas submarinas superiores	1320000	2996000	0.441	1027600	344748600	0.3908
	Formação da preguiça	2050000	27213300	0.075	1027600	344748600	-1.3754
	Conglemerados, calcários e calcarenitos	420000	209200	**2.008**	1027600	344748600	**1.9074**
	Aluviões, areias e depósitos de vertente	23230000	51494500	0.451	1027600	344748600	0.4144
	Escoadas submarinas, subaérea e piroclásticos	770000	5152100	0.150	1027600	344748600	-0.6903
	Formação de Figueira de Coxe	3820000	3908400	0.977	1027600	344748600	1.1875
	Complexo filoniano de base e brechas intravulcânicas	2940000	7748600	0.379	1027600	344748600	0.2413
	Mantos subaéreos intercalados e piroclastos	20000	782300	0.026	1027600	344748600	-2.4561

Depósitos conglomeráticos-brechóide	0	629100	0.000	1027600	344748600	-2.4561
Mantos, piroclásticos e chaminés fonolíticos	10000	256500	0.039	1027600	344748600	-2.0341
Terraços, dunas fósseis e calcários	0	198800	0.000	1027600	344748600	-2.4561
Escoadas subaéreas, submarinas e preguiça	0	303800	0.000	1027600	344748600	-2.4561
Escoadas, chaminés e piroclásticos fonolíticos	1590000	605300	**2.627**	1027600	344748600	**2.1762**
Mantos submarinos e piroclástos	0	1020300	0.000	1027600	344748600	-2.4561